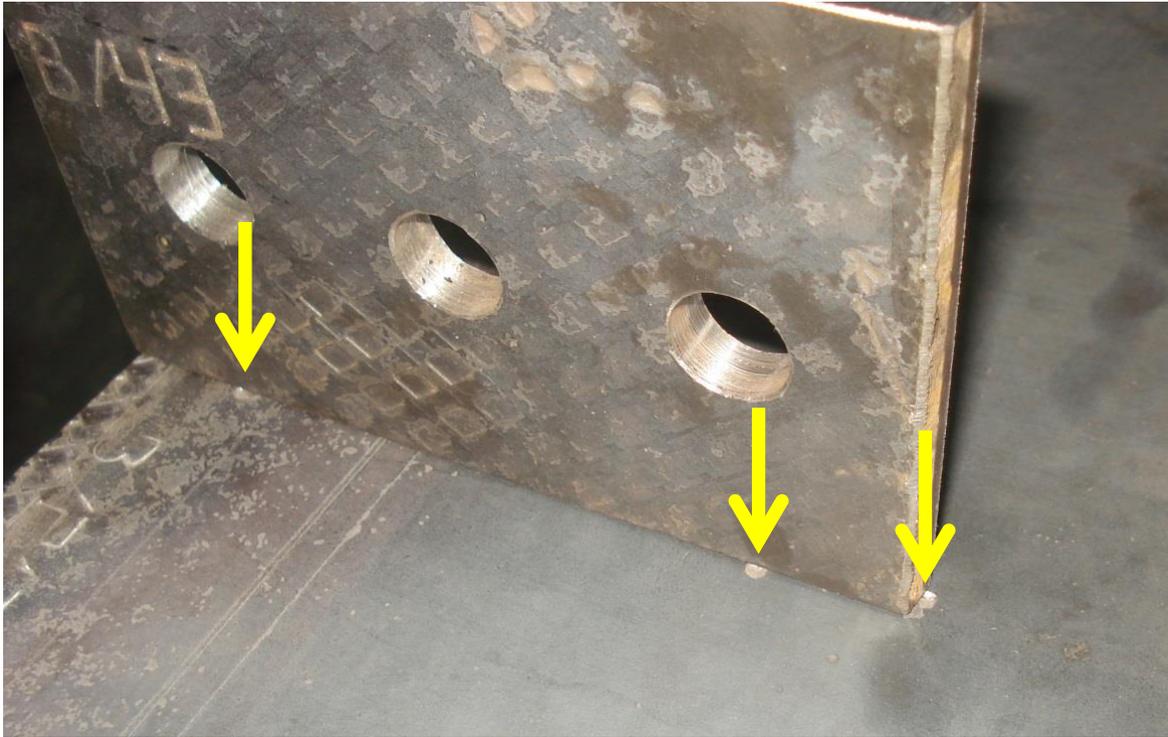


# Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern



Dissertation zur Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur

des Fachbereichs D, Abteilung Bauingenieurwesen  
der Bergischen Universität Wuppertal

am Lehr- und Forschungsgebiet Bauinformatik  
Univ.- Prof. em. Dr.- Ing. Georg Pegels

vorgelegt von

Dipl.-Ing. SFI Alireza Eghdam  
Teheran, Januar 2014

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20140904-100345-0

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20140904-100345-0>]

**Dissertationsschrift eingereicht:**

**16. Januar 2014**

**Mündliche Prüfung und Disputation:**

**14. August 2014**

**Prüfungskommission:**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Felix Huber (Vorsitzender)**

*Lehr- und Forschungsgebietes Umweltverträgliche  
Infrastrukturplanung, Stadtbauwesen (LUIS)*

**Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Georg Pegels (1. Gutachter)**

*Lehr- und Forschungsgebiet für Theoretische Methoden  
und Angewandte Informatik*

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hanswille (2. Gutachter)**

*Lehr- und Forschungsgebiet Stahlbau und Verbundkonstruktionen*

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus (3. Gutachter)**

*Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft*

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff (Beisitzer)**

*Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau*

# **Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern**

## **Zusammenfassung**

Hochleistungs-Produktionssysteme, von Weltmarktführern im Bauwesen höchst effizient eingesetzt, werden auch von Bauunternehmen in Entwicklungsländern gekauft – mit großer Erfolgserwartung. Dann aber stehen sie dort ungenutzt herum.

Der Erfolgsweg zu effizienter, sicherer Produktionstechnik in solchen Ländern ist weitgehend unerforscht. Wie die dortige Praxis zeigt, stellen sich schwerwiegende Hindernisse kultureller, mentaler, schulischer, politischer, wirtschaftlicher, technischer und wissenschaftlicher Art entgegen.

Diese Dissertation ergründet daher allgemeingültig, wie in Entwicklungsländern Stahlbau-Unternehmen konzipiert werden müssen, d. h. mit funktionstüchtiger Anpassung der Produktionstechnik und Aufbau sowohl der relevanten Infrastruktur als auch der Fachkompetenz lokaler Ingenieure und Werker. Neben der Unternehmenskonzeption und dem angestrebten Produktspektrum sind dazu alle Phasen von der Planung und Konstruktion (CAD) über die Arbeitsvorbereitung (CAM) bis zur Fertigung (CNC) kenntnisreich angepasst weiterzuentwickeln. Um von Behauptungen zu wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen zu gelangen, wird am Beispiel eines innovativen Start-Up Unternehmens für erdbebentüchtigen Stahlbau in einem typischen Entwicklungsland die aufgestellte Theorie experimentell evaluiert und nachgewiesen. Die Allgemeingültigkeit des Ansatzes wird an einem zweiten Fallbeispiel aus Tansania, Afrika, untermauert.

## **Efficient, Safe Production Technology for Steel Construction Industries in Developing Countries**

### **Abstract**

High-performance production systems that are implemented extremely efficiently by global market leaders in the construction industry are also bought by construction companies in developing countries – with high hopes of success. But often they stand around unused.

The road to the successful implementation of safe and efficient technology in such countries is largely unexplored. As practical experience has shown, it is often beset by serious obstacles, which can be of a cultural, mental, educational, political, economic, technical or scientific nature.

Universally valid, this dissertation therefore explains the importance of designing steel construction enterprises in developing countries so as to ensure that the production technology and set-up are fully functional and adaptable, that the relevant infrastructure is in place and that local engineers and workers have the necessary specialist expertise. In addition to the company's business model and intended product range, all phases of planning, design, detailing (CAD/CAM) and production engineering up to CNC production lines must be skilfully adapted and evolved. In order to make the transition from unproven assertions to scientifically based findings and cognition, the theory developed here is experimentally evaluated and verified on the basis of an innovative start-up company that produces earthquake-compliant steel structures in a typical developing country. Universal validity of the basic approach is supported by a second case study in Tanzania, Africa.

Ich versichere, dass ich diese Dissertation selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt, nur die angegebenen Quellen benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Wermelskirchen, den 16. Januar 2014

\_\_\_\_\_  
(Dipl.-Ing. SFI Alireza Eghdam)

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehr- und Forschungsgebiet „Theoretische Methoden und Angewandte Informatik“ des Fachbereichs D, Abt. Bauingenieurwesen, an der Bergischen Universität Wuppertal. Die experimentelle Verifizierung der Arbeit erfolgte im Stahlbau-Unternehmen SARAMAN, Isfahan (Iran).

Mein Dank gilt in besonderem Maße meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Georg Pegels für die wissenschaftliche Unterstützung sowie für die vielseitigen Anregungen und Diskussionen während der letzten Jahre, die einen großen Anteil an dem Gelingen dieser Arbeit haben.

Für die Übernahme des Vorsitzes in meinem Prüfungsverfahren und die hilfreichen Hinweise zum Verfahren danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Felix Huber.

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Schlenkhoff für sein Interesse an meiner Arbeit sowie Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hanswille und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus für die Übernahme der Koreferate.

Zusätzlich geht mein Dank an Herrn Prof. Dr. Jamshid Parvizian von der Technischen Universität Isfahan, an meine Kollegen im Lehrgebiet und an die Mitarbeiter der Fa. Saraman und GOLDBECK für die komplementären Sichtweisen und Diskussionen.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Soodabeh und meiner Schwester Mitra für die Liebe und Unterstützung, die sie mir stets entgegen bringen.

Meiner Mutter danke in besonderer Weise für ihren Rückhalt, Ansporn, unermüdliche Unterstützung und ihre Liebe in allen Phasen meines Lebens. Ihr widme ich diese Arbeit.

Wermelskirchen, 18. Aug. 2014

Alireza Eghdam

Meiner Mutter  
Golozar Andervazh

## **Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern**

### **Inhaltsverzeichnis**

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>1</b> | <b>Motive und Ziele .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2</b> | <b>Ausgangssituation der Wirtschaftssysteme in Entwicklungsländern ..</b> | <b>6</b>   |
| <b>3</b> | <b>Sicherheit und Effizienz, Veranschaulichung des Ist-Zustands .....</b> | <b>9</b>   |
| <b>4</b> | <b>Schlussfolgerungen aus der Ausgangssituation.....</b>                  | <b>19</b>  |
| <b>5</b> | <b>Gesamtkonzeption von Vorbild-Bauunternehmen in Europa.....</b>         | <b>28</b>  |
| 5.1      | Unternehmens- und Produktstrategie .....                                  | 33         |
| 5.2      | Effiziente, sichere und innovative Produktionstechnik .....               | 37         |
| 5.3      | Personal, Ausbildung, Mitarbeiterbeteiligung.....                         | 58         |
| <b>6</b> | <b>Adaptierte Gesamtkonzeption für Entwicklungsländer.....</b>            | <b>62</b>  |
| 6.1      | Adaptierte Unternehmensstrategie .....                                    | 63         |
| 6.2      | Produktstrategie, Produktentwicklung.....                                 | 70         |
| 6.3      | Werkslayout, Produktionstechnik, Montage .....                            | 80         |
| 6.4      | Personal, Ausbildung, Mitarbeiterbeteiligung.....                         | 92         |
| <b>7</b> | <b>Experimenteller Nachweis.....</b>                                      | <b>98</b>  |
| 7.1      | Verifizierung der Gesamtkonzeption im Forscherteam.....                   | 99         |
| 7.2      | Inbetriebnahme eines Muster-Werks für Entwicklungsländer.....             | 110        |
| 7.3      | Ergänzungen der Produktionstechnik nach Kundenaudit .....                 | 120        |
| 7.4      | Verifizierung der adaptierten Produktionstechnik im Alltagseinsatz ..     | 126        |
| 7.5      | Schlosserei in Tansania für erdbebentüchtige Bauten .....                 | 134        |
| <b>8</b> | <b>Bewertung der Erkenntnisse und Ausblick .....</b>                      | <b>139</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>144</b> |

## Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern

### 1 **Motive und Ziele**

Entwicklungsländer und selbst Schwellenländer leiden unter einer für deutsche Ingenieure kaum vorstellbaren Ineffizienz und mangelndem Sicherheitsverständnis, wie Praxisbeispiele dieser Arbeit belegen. Effiziente, sichere Produktionstechnik wäre daher ein bedeutender Schritt für das Wohlergehen und die Wohlfahrt dieser Völker. Entsprechender Technologietransfer von hoch entwickelten Ländern hin zu Entwicklungsländern mit geeigneter Anpassung der Technologien an die lokalen Randbedingungen (Technologiediffusion) hilft, dass diese Völker längerfristig einen ähnlichen Wohlstand der breiten Bevölkerung erreichen können, wie entwickelte Länder. Nach A. Pegels [1-1] wird aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht zur Technologiediffusion und somit auch zur Produktionstechnik Folgendes beobachtet:

„Während mehreren tausend Jahren vor der industriellen Revolution war der Lebensstandard weltweit niedrig.<sup>1</sup> Ein Wachstum des Lebensstandards war selbst in Hochkulturen wie China nicht zu beobachten. Mit Beginn der industriellen Revolution änderte sich diese Stagnation schlagartig: Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts ist ein nachhaltiges Wachstum des durchschnittlichen globalen Pro-Kopf-Einkommens um jährlich ca. 1,2% zu beobachten.<sup>2</sup> Das Niveau des Pro-Kopf-Einkommens ist dadurch heute ca. zehnmal so hoch wie im Jahr 1800, im Jahr 1500 oder sogar vor 10.000 Jahren.<sup>3</sup> Eine der grundlegenden Annahmen der Wachstumstheorie ist, dass der technologische Fortschritt bei der Initiierung, Beschleunigung und Erhaltung dieses Wachstums eine Schlüsselrolle spielt.<sup>4</sup>

Gleichzeitig ist jedoch zu beobachten, dass sich das Wachstum ungleichmäßig auf die verschiedenen Regionen der Welt verteilt. Während wenige entwickelte Länder stabile Wachstumsraten verzeichnen und einige Entwicklungsländer durch überdurchschnittliches Wachstum zu ihnen aufschließen, fallen andere Länder immer weiter zurück.<sup>5</sup> Entgegen der Voraussage der neoklassischen Wachstumsmodelle zeigt sich also keine globale Konvergenz, sondern vielmehr die Bildung von Konver-

---

<sup>1</sup> Vgl. Jones (2005), S. 52.

<sup>2</sup> Vgl. Maddison (2001), S. 28.

<sup>3</sup> Vgl. Jones (2005), S. 52.

<sup>4</sup> Vgl. Aghion, Howitt (1998), S. 11.

<sup>5</sup> Vgl. Grossmann, Steger (2007), S. 2.

genzclubs.<sup>6</sup> Der „reichste“ und der „ärmste“ Club divergieren dabei so stark, dass das Verhältnis der Pro-Kopf-Einkommen von 3 im Jahr 1810 auf 19 im Jahr 1998 wuchs.<sup>7</sup> Für viele der so genannten Entwicklungsländer scheinen die Hürden zur Erreichung nachhaltigen Wachstums folglich unüberwindbar zu sein. Anderen jedoch sind teilweise mit Deutschland vergleichbare Wirtschaftswunder gelungen.<sup>8</sup> Der rasche Fortschritt der globalen Technologiegrenze und die zunehmende weltwirtschaftliche Verflechtung haben sich damit auffallend ungleich auf das Wirtschaftswachstum insbesondere in Entwicklungsländern ausgewirkt.“

Nach A. Pegels ist also gelungene Technologiediffusion das entscheidende Kriterium, ob der Wohlstand der Zivilbevölkerung in Schwellen- und Entwicklungsländern sich dem der Industrieländer annähert oder aber mit desolaten Folgen weiter absackt. Nur wenige Schwellenländer nähern sich dem Technologieniveau der Industrieländer. Die Mehrheit der Entwicklungsländer fällt weiter zurück, manche davon dramatisch. Wie Bild 1-1 aus [1-1] veranschaulicht, sind Entwicklungsländer mit einem kritischen Technologieverhältnis Entwicklungs-/Industrieländer  $A_{EL}/A_{IL}$  von unter 0,2 von dieser Divergenz betroffen:

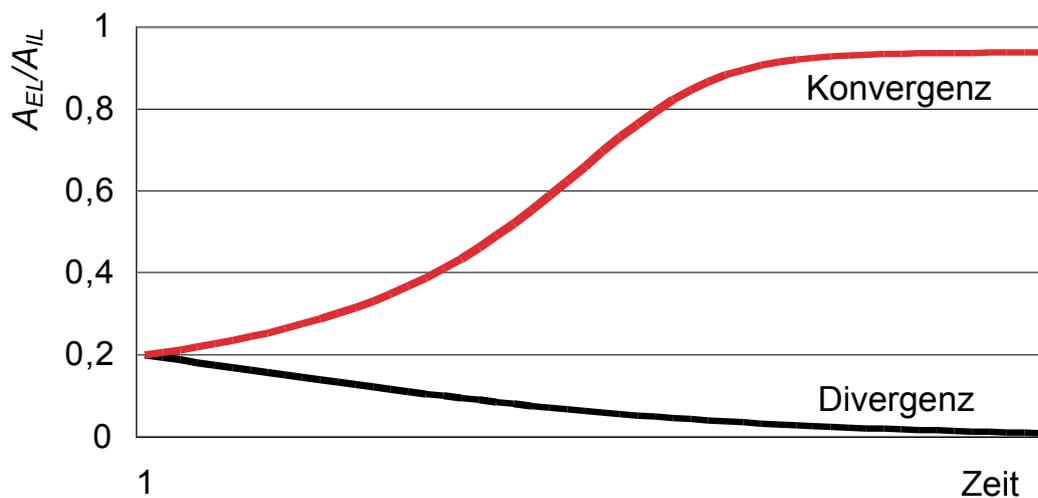


Bild 1-1: Zeitverlauf des Technologieverhältnisses Entwicklungs-/Industrieländer  
Quelle: A. Pegels [1-1]

<sup>6</sup> Vgl. Baumol (1986); Durlauf, Johnson (1995); Quah (1993, 1997) und Mayer-Foulkes (2002, 2003).

<sup>7</sup> Den reichsten Club bildeten 1820 die westeuropäischen Länder und 1998 Australien, Kanada, Neuseeland und die USA. Den ärmsten Club bildeten in beiden Jahren die Länder Afrikas, vgl. Howitt, Mayer-Foulkes (2004), S. 1.

<sup>8</sup> Zum Beispiel China, Singapur, Taiwan und Südkorea.

Wohlstand muss in der Regel von der breiten Bevölkerung erarbeitet werden, von Sonderfällen einiger Ölstaaten abgesehen. Ohne Technologiediffusion verharrt eine Bevölkerung wie seit Jahrtausenden stagnierend in der Landwirtschaft. Diese kann nur eine begrenzte Kapazität für Ernährung bereitstellen, insbesondere bei Verzicht auf landwirtschaftliche Technologie. Wächst die Bevölkerung über die Grenze der durch lokale Landwirtschaft und einschlägigen Handel und Handwerk ernährbaren Bevölkerung, entstehen humane Katastrophen.

Die Millennium Development Goals der Vereinten Nationen zeigen auf, welche Ziele in allen Schwellen- und Entwicklungsländern erreicht werden sollten, um von inhumanen, sich verschlimmernden Zuständen zu Wohlstand der Zivilbevölkerung zu gelangen [1-2]. Wege, wie die Millenniumsziele zu erreichen sind, werden an Fallbeispielen von den Vereinten Nationen begleitet. Der Verfasser hat so im Jahre 2004 am MONDIALOGO Engineering Award der UN [1-3] teilgenommen und ist mit seiner Arbeit an einem entsprechenden Fallbeispiel in einem Entwicklungsland beteiligt [1-4].

Das Thema der Arbeit ist aus diesen Gründen allgemein bedeutend für Entwicklungsländer. Es ist allerdings auch schwierig zu lösen, da kaum Forschungsgrundlagen bestehen, wie die damit verbundenen Teilprobleme erfolgreichen, adaptierten Technologietransfers auf kulturellen, politischen, wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Gebieten systematisch und zuverlässig gelöst werden könnten.

Effiziente Produktionstechnik ist bei der Technologiediffusion und –Imitation von herausragender Wirksamkeit für den Wohlstand einer Bevölkerung, weit mehr als beispielsweise Nukleartechnik. Menschliche Grundbedürfnisse sind durchweg verbunden mit Nachfrage nach Gebäuden, sei es für das Wohnen, das Arbeiten, das Lernen oder das Gesundheitswesen. Um Gebäude für die breite Bevölkerung erschwinglich herzustellen, ist effiziente Produktionstechnik in der Bauindustrie von Entwicklungsländern notwendig. Leider ist vielfach zu beobachten und an Beispielen dieser Arbeit belegt, dass die angewandte Produktionstechnik in diesen Ländern oft ineffizient ist und obendrein qualitativ minderwertige, unsichere Bauten produziert werden. Erschwerend kommt hinzu, dass in vielen Entwicklungsländern Erdbebengefahr herrscht, so dass Sicherheitsmängel und Gefahrenpotential sich gegenseitig negativ verstärken.

Von daher stammt die Motivation des Verfassers, durch eigene Forschung zur Anpassung und Einführung effizienter, sicherer Produktionstechnik in Entwicklungsländern dazu beizutragen, erschwingliche, erdbebensichere Häuser zu bauen, vorwie-

gend Schulen, Krankenhäuser und Wohnhäuser in ländlichen Gegenden. Der experimentelle Nachweis der hier entwickelten Theorie wird an zwei konkreten Fallbeispielen in Entwicklungsländern geführt, um die Allgemeingültigkeit des Ansatzes zu untermauern.

Nach G. Pegels [1-5 bis 1-7] kann Deutschland bei der Suche nach einer funktions-tüchtigen Lösung aus guten Gründen als Vorbild dienen, das geeignet zu adaptieren ist:

„Ähnlich wie in Deutschland nach dem zweiten Weltkrieg, als Millionen Flüchtlinge ohne Wohnraum und Arbeit waren, wäre auch in Schwellenländern ein Wohnungsbau-Förderprogramm gesellschaftspolitisch höchst vernünftig. So würden Arbeitsplätze im Bauwesen und gleichzeitig neue Wohnungen geschaffen, also beide Hauptprobleme von Entwicklungsländern mit einer Maßnahme gleichzeitig gelöst. Dabei könnten deutsche Baufirmen, die bisher die Chancen des Exports ungenutzt ließen, das Ingenieurwissen und die Systemführerschaft liefern, somit also einen Zukunftsmarkt mit hohem Baubedarf erschließen. Systemführerschaft auf deutscher Seite mit Produktion und Bau der Objekte im Entwicklungsland führt zu Strukturen, wie sie Girmscheid in [1-8] als „Systemanbieterwettbewerb und virtuelle Unternehmen“ vorgestellt hat.

Ein Bauprogramm geht aber in Entwicklungsländern ins Leere, wenn nicht für erdbebensicheres Bauen ein innovatives Gesamtkonzept für Gestaltung, kulturelle Akzeptanz, Planung, Fertigung und Montage gefunden wird, das die spezifischen Hindernisse von Entwicklungsländern (Kompetenzmangel, unberücksichtigte oder fehlende Normen, fehlende Bauaufsicht, fehlende Facharbeiter etc.) durch robuste technische Lösungen kompensiert bzw. ausschließt.“

Die Situation ist in fast allen Entwicklungsländern der Welt ähnlich und stellt somit eine der großen unternehmerischen Chancen im Bauwesen weltweit dar. Der Markt ist da, aber die wissenschaftliche Basis für unternehmerische Ansätze zur funktions-tüchtigen Problemlösung fehlt.

Der erdbebensichere Wohnungsbau betrifft weltweit besonders die Armen und sozial Schwachen, Milliarden von Menschen in Entwicklungsländern inkl. China. Die Größenordnung im Einzelfall wird deutlich, wenn man sich bewusst macht, dass z. B. im starkbebengefährdeten Raum Teheran bis zu 13 Millionen Menschen vorwiegend in Gebäuden leben, die bei einem schweren Erdbeben ähnlich dem Bam-Erdbeben einstürzen werden, siehe Bild 1-2.



Bild 1-2: Erdbebenuntüchtige Bauweise in Entwicklungsländern  
Quelle: Building and Housing Research Center (BHRC), Teheran

Das Thema ist also gesellschaftspolitisch wie wirtschaftlich außergewöhnlich relevant und als im Wesentlichen unerforschtes Gebiet im wissenschaftlichen Sinn „signifikant“ [1-5 bis 1-7 und 1-9 bis 1-10].

## 2 Ausgangssituation der Wirtschaftssysteme in Entwicklungsländern

Effizienter, sicherer Produktionstechnik stehen in Entwicklungsländern schwerwiegende Hindernisse in Form der landestypischen Wirtschaftssysteme entgegen, wie nachfolgend erörtert. Die Ausgangssituation der Wirtschaftssysteme ist oft noch erschwert durch Naturkatastrophen. Viele Entwicklungsländer erlitten z. B. Starkbeben, denen landesübliche Bauwerke nicht gewachsen waren. Laut Samsamshariat [2-1] zählt z. B. der Iran zu den Ländern mit der höchsten Erdbebengefährdung. Die Bevölkerung lebt dort nämlich vorwiegend in Gebieten mit großer Wahrscheinlichkeit von Starkbeben, Bild 2-1.

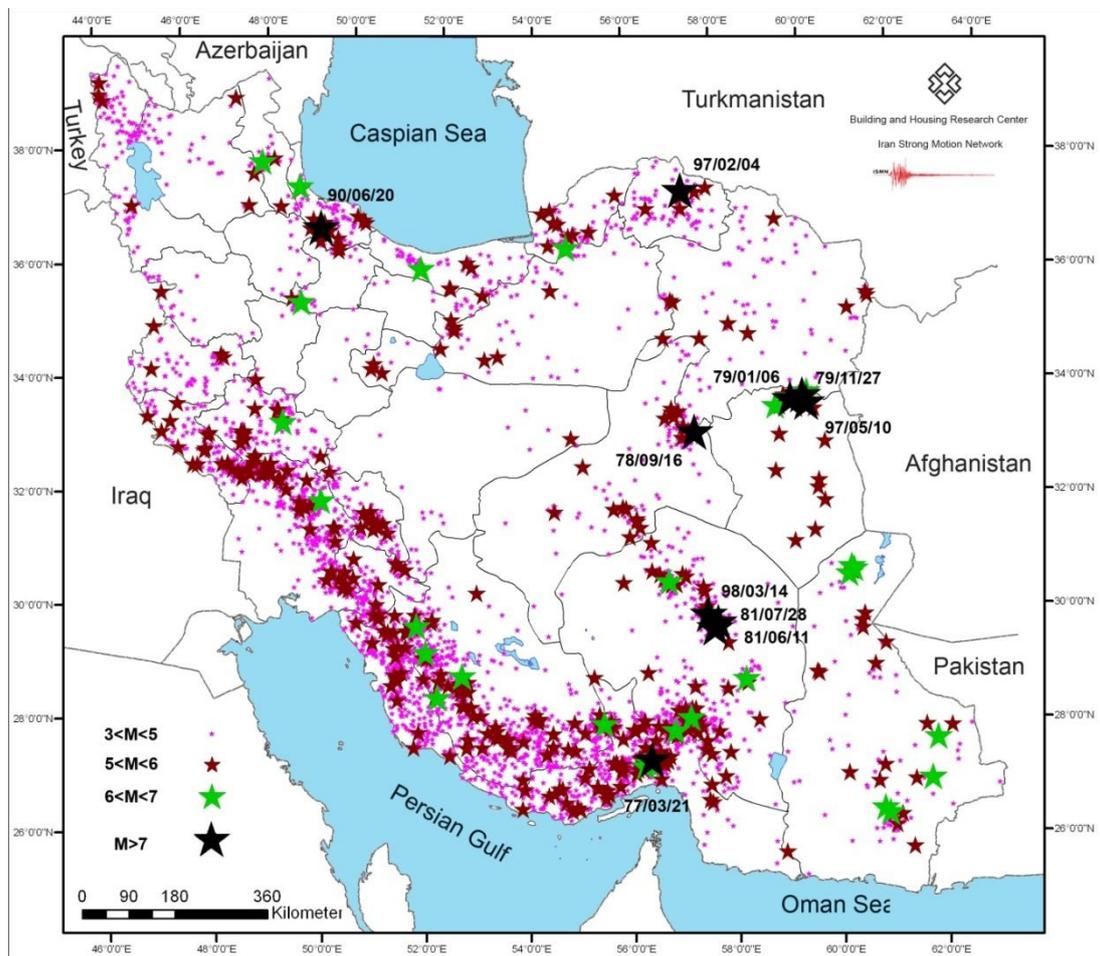


Bild 2-1: Historische Starkbeben im Iran, Stärke 4 bis 7 und höher  
Quelle: Building and Housing Research Center (BHRC), Teheran

Diese Dissertation wird sich primär auf Stahlbauweisen für Tragwerke in Erdbebengebieten konzentrieren. Die Stahlbauweise ist durch den duktilen Werkstoff in scharfem Gegensatz zu spröden Werkstoffen wie gebranntem Ziegel und Beton nicht nur eine effiziente, sondern auch sichere Bauweise. Zugleich erlaubt sie qualitätsgesicherte, effiziente industrielle Werkstattfertigung statt Baustellenfertigung. Die Wirtschaftssysteme vieler Entwicklungsländer bieten aus strategischen Gründen relativ

leistungsfähige Hochöfen und Walzwerke. Stahlbauweise ist daher für Entwicklungsländer keineswegs prohibitiv.

Die gesuchte Produktionstechnik für das Bauwesen in Entwicklungsländern muss die Erdbebensicherheit durch geeignete Verfahren „verfahrensimmanent“ gewährleisten, also möglichst unabhängig von Personen ohne hinreichende Fachkenntnisse sein.

Um nun die notwendigen Ideen und Erkenntnisse zum Thema der Arbeit zu gewinnen bzw. herleiten zu können, wird zunächst die für Entwicklungsländer typische Ausgangssituation im Bauwesen dargestellt. Dabei werden Einflussfaktoren technischer wie nicht-technischer Art ingenieurwissenschaftlich analysiert.

Die Wirtschaftssysteme von Entwicklungsländern sind dem europäischen Leser möglicherweise nicht bekannt oder gar unvorstellbar, da z. B. völlig konträr zu sozialer Marktwirtschaft. Nachfolgend seien daher die wirtschaftlichen/gesellschaftlichen Besonderheiten und ihre Folgen dargestellt, soweit glaubhafte Daten eruiert werden konnten.

Das Wirtschaftssystem in Ägypten darf als Beispiel typisch, also weitgehend allgemeingültig für Entwicklungs- und Schwellenländer angesehen werden:

In Hintergrundanalysen der Wochenzeitschrift „Die Zeit“ zum sogenannten Arabischen Frühling wird darauf hingewiesen, dass die wesentlichen Wirtschaftsunternehmen des Landes Ägypten seit Jahrzehnten zunehmend in den Besitz des ägyptischen Militärs gelangt sind. Das Militär bildet als größter Arbeitgeber des Landes praktisch ein Oligopol. Aufträge werden unter diesen Gegebenheiten nur selten an den durch Effizienz und Kompetenz günstigsten Bieter vergeben. Verdeckte, auftragsfremde Leistungen spielen eine Rolle für den Zuschlag. Die unprofessionelle Leitung der Unternehmen durch Fachfremde tut ein Übriges, die gedeihliche Entwicklung derartiger Unternehmen zu begrenzen. Nur selten jedoch droht den so geleiteten Unternehmen wegen Ineffizienz der Konkurs. Im Vergleich zu internationalen Wettbewerbern werden ihnen nämlich landesintern stark überhöhte Preise gezahlt. Der Sachzwang zu Effizienz und Kompetenz ist daher bei diesen Unternehmen gering ausgeprägt. Eine internationale Wettbewerbsfähigkeit ist nicht gegeben, weder personell noch technisch.

Auch persönliche Erfahrungen in mehreren Entwicklungsländern belegen diese Aussage. Als repräsentativer Fall sei ein Werk im Iran skizziert: Das besuchte Werk besteht aus mehreren Hallen und Bürogebäuden. Die größte Produktionshalle hat ca. 30 Meter Spannweite und über 200 Meter Länge. Als funktionstüchtige Geräte ste-

hen den ungelernten Arbeitern dort lediglich Schneidbrenner, Handschweißgeräte und eine mehr als 40 Jahre alte Radialbohrmaschine zur Verfügung. Die Rohteile werden auf dem Sandboden oder auf Böcken aufgelegt, mit Kreidestrichen angerissen und freihand auf Maß gebrannt. Die typische Genauigkeit, z. B. von Trägerlängen, beträgt bei dieser Produktionstechnik ca. +/- 3 mm. Die für Montierbarkeit von Schraubverbindungen einzuhaltende Passtoleranz von +/- 1 mm (Lochspiel) wird daher überschritten mit der Folge, dass alle Bauteile auf der Baustelle aufwändig nachgearbeitet werden müssen. Der Werksleiter zeigte auch eine moderne CNC-Bearbeitungsmaschine in der ansonsten fast leeren Werkshalle. Die beachtliche Staubhöhe auf dem Ein-Schalter dieser kostspieligen, importierten CNC-Werkzeugmaschine lässt die reale Nutzung abschätzen.

Die Wirtschaftssysteme in Entwicklungsländern lassen, wie oben dargestellt, Fachkompetenzen verkümmern oder nicht wirksam werden, mit fatalen Auswirkungen auf die gesamte dortige Baupraxis. Deutschen Bauingenieuren sind die konkreten Auswirkungen der Wirtschafts- und Bildungssysteme auf das Baugeschehen in Entwicklungsländern mangels einschlägiger Erfahrung nicht vorstellbar. Zum elementaren Verständnis, welche Ingenieurprobleme im Rahmen dieser Arbeit allgemeingültig zu lösen sind, muss daher zunächst an konkreten Fällen die Problematik anschaulich und nachvollziehbar erörtert werden. Erst wenn die Ist-Situation in Kapitel 3 umfassend verständlich und glaubhaft gemacht wurde, können dann in Kapitel 4 die wissenschaftlichen Schlussfolgerungen aus der Ausgangssituation in Entwicklungsländern gezogen werden.

### 3. Sicherheit und Effizienz, Veranschaulichung des Ist-Zustands

In Diskussionen mit Bauingenieuren europäischer Baupraxis zum wissenschaftlichen Ansatz dieser Dissertation wurde erkennbar, dass der Ist-Zustand des Baugeschehens in Entwicklungsländern weitgehend unbekannt ist. Anschauliche, konkrete Fallbeispiele repräsentativen Charakters waren erforderlich, in der Diskussion das gesamte Ausmaß der zu lösenden Problematik vorstellbar zu machen. Erst dann wurden die aus der Ist-Situation gezogenen Schlussfolgerungen und letztlich der entwickelte theoretische Lösungsansatz und seine experimentelle Verifizierung als allgemeingültig und wissenschaftlich fundiert für Entwicklungsländer erkennbar.

Baufachleute mit eigener Entwicklungsland-Erfahrung mögen dieses Kapitel überspringen. Wissenschaftler ohne diese Erfahrung aber werden die nachfolgenden Beispiele benötigen, um die Berechtigung des entwickelten Ansatzes und seine Verifizierung nachvollziehen zu können.

Für gewöhnliche Bauten ohne öffentliche Präferenz sind die Auswirkungen der Wirtschaftssysteme in Entwicklungsländern besonders ungünstig, sowohl bezüglich Effizienz als auch Sicherheit. „Obwohl in den Ingenieurwissenschaften weitgehend bekannt ist, wie erdbebensicher gebaut werden kann, wird in Entwicklungsländern tatsächlich überwiegend nicht so gebaut“ [1-5 bis 1-7]. Finanzielle Gründe dazu sind nicht allein entscheidend, sondern systemische entsprechend Kapitel 2, wie die folgenden, charakteristischen Fallbeispiele aus Entwicklungsländern zeigen.

Schon auf den ersten Blick werden in Bild 3-1, einem mehrgeschossigen Wohnhaus, gefährliche Baumängel offensichtlich. Das Stahltragwerk des Wohngebäudes ist grob unfachmännisch ausgeführt. Die Vertikalverbände sind funktionsuntüchtig, da die linke Stütze nicht existiert, an die die Verbände hätten angeschlossen werden müssen. Lediglich ein kurzer Reststummel dieser Stütze ist ganz oben links zu finden. Im Erdgeschoss fehlt eine Diagonale des Horizontalverbandes, so dass dieses Geschoss frühzeitig versagen wird (soft-floor collapse). Die steifen, spröden Wandscheiben aus Hohlziegeln (!) können als „shear walls“ im Starkbebenfall die horizontale Stabilisierung des Tragwerks nicht sicherstellen. Das Gebäude wird dann in Form des „Pancake Collapse“ einstürzen. Die mangelhafte Tragstruktur wurde vor dem Verkauf der relativ teuren Apartment-Wohnungen mit edlem Marmor verkleidet, blieb also nicht sichtbar. Das äußere Bild ist für den Käufer entscheidend, er blickt fachlich nicht tiefer.



Bild 3-1: Entwicklungsländertypische Baumängel, mehrgeschossiges Wohnhaus  
Quelle: Verfasser

Grundsätzlich bleibt die Verwendung von Traggliedern aus Stahl in Erdbebengebieten sinnvoll, denn das Arbeitsvermögen der Stahlkomponenten und Anschlüsse des Tragwerks ist aufgrund der plastischen Verformungsfähigkeit (Duktilität) von Stahl und entsprechenden Lastumlagerungen günstiger als bei anderen Baustoffen. Die Wirtschafts- und Ausbildungssysteme von Entwicklungsländern haben aber selbst bei Stahlbauweisen fatale Auswirkungen. Die Auswertung von Dokumentationsbildern einiger Starkbeben zeigt, dass der Einsturz auch moderner, ursprünglich sicher geplanter Bauten oft mit gerissenen Montagenähten begann. Sie werden nach Erdbeben sichtbar, siehe Bild 3-2. Die mit einigen Kehlnähten an die Stütze angehefteten Träger und Verbände sind abgerissen. Generell ist auf Baustellen in Entwicklungsländern zu beobachten, dass man sich auf der Baustelle nicht an Nahtangaben in den Bauzeichnungen hält. Eine Messlehre für Nahtdicken wird von Prüfern nicht verwendet. Fachkompetente Kontrollen werden oft nicht durchgeführt oder umgangen.



Bild 3-2: Anschlussdetails: Typische Baumängel, nach Erdbeben sichtbar  
Quelle: Building and Housing Research Center (BHRC), Teheran

Weitere, aus abgerissenen Montagenähten folgende Einsturzsituationen veranschaulicht Bild 3-3.



Bild 3-3: Einsturz bei Starkbeben infolge unzureichender Montagenähte  
Quelle: Building and Housing Research Center (BHRC), Teheran

In jedem Wirtschaftssystem besitzt das zugehörige Bildungswesen zentrale Bedeutung mit nachhaltiger Wirkung. In Hinsicht auf Sicherheit und Effizienz ist daher eine tiefere Betrachtung des Bildungswesens in Entwicklungsländern erforderlich, um die zwangsläufigen Folgen verstehen zu können.

Zunächst sei die Problematik der handwerklichen Ausbildung der Werker erörtert.

Handwerkliche Berufe im Bauwesen, etwa Schweißer oder Monteur, werden zumeist innerhalb von Familienclans weitergegeben. Schulische Fachausbildung fehlt ebenso

wie Ausbildung in Sicherheitsfragen. Ein Duales Ausbildungssystem wie in Deutschland existiert nicht. Der Lohn von Bauarbeitern in Schwellenländern beträgt typischerweise umgerechnet etwa 7-12 Euro pro Tag, kostenfrei zusätzlich Transport zur Arbeitsstelle und Verpflegung. Diese Arbeiter wissen buchstäblich nicht, was sie tun und welche Konsequenzen ihr Tun hat. Dennoch ändern sie eigenmächtig und zumeist ohne Kontrolle auf der Baustelle die angelieferten Bauteile, bis diese scheinbar passen. Ein häufig zu beobachtender Fehler sind sehr ungenau platzierte Stützenfundamente. Statt die ungenauen Fußpunkte als ursprüngliche Fehlerursache maßlich präzise zu korrigieren, wird stattdessen das gesamte, korrekt in der Werkstatt gefertigte Tragwerk auf der Baustelle gewaltsam „repariert“, also den fehlerhaften Fußpunkten als Kettenreaktion angepasst. Für derartiges „On-Site Reworks“ wird insgesamt mehr Arbeitszeit verbraucht als für die ursprüngliche Fertigung in der Stahlbaufirma, wie eigene Beobachtungen auf Baustellen ergaben, siehe Kapitel 7. Haftungen oder Versicherungen der Arbeiter sind unüblich. Allenfalls wird die Bezahlung hinausgezögert, was bei Entwicklungsländern mit zweistelligen Inflationsraten kritisch ist.

Die Ausgangssituation für akademische Berufe scheint auf den ersten Blick besser, da es auch in Entwicklungsländern Hochschulen und Universitäten gibt, die für sich internationales Niveau reklamieren. Die dort Lehrenden haben zumeist in Industrieländern an überwiegend theoretischen Themen promoviert oder aber sie wurden aus eher politischen Gründen berufen, wie es z. B. auch in der DDR vorkam. Fachprofessoren aus Entwicklungsländern sind nur selten praxiserfahren. Ein AvH-Gastprofessor, der an seiner Heimatuniversität im Entwicklungsland das Fach Statik lehrte, zeigte sich bei seinem Gastaufenthalt in Deutschland zwar theoretisch sehr beschlagen, konnte aber keine Statik für ein reales Gebäude rechnen. Dies lernte er erst im Rahmen eines mehrmonatigen Praktikums in einem Bochumer Ingenieurbüro. Mit diesem Fachwissen nahm er dann einen Ruf an eine Universität in England an.

Akademiker in Entwicklungsländern bleiben auch deshalb praxisfern, weil sie während ihres Fachstudiums Praktika mit handwerklichen Tätigkeiten vermeiden. Die Lehrbücher der landesbesten Professoren, Standardwerke des Bauwesens, zeugen denn auch von Unkenntnis wirtschaftlicher und fertigungstechnischer Belange, siehe folgende Bilder. In den 70er Jahren z. B. in den USA übliche Lösungen werden unkritisch übernommen und in den Normungsgremien des Entwicklungslandes als Normlösung empfohlen. Dass diese fertigungstechnisch aus heutiger Sicht nicht durch-

dachten, amerikanischen Lösungen schon damals im europäischen Konkurrenzdruck gegen effiziente, sichere Lösungen ersetzt wurden, blieb selbst Eliteprofessoren in den Entwicklungsländern verschlossen.

Wie es dazu in den entsprechenden Wirtschafts- und Bildungssystemen kommt, sei exemplarisch an einem Standardwerk für Stahlbau-Anschlüsse [3-1] erläutert: *Steel Structures, Volume 3, Connections*, Bild 3-4. Die engagierten Verfasser des Buches sind aufgrund ihrer in den USA erworbenen Fachkenntnis Professoren einer renommierten Universität. Einer der Verfasser war als Prorektor für Lehre erfolgreich in der Anbahnung von internationalen Hochschulkooperationen. Zur Weiterbildung wurde ihm und seinem Fachkollegen daher im Jahr 2006 vom DAAD ein Gastaufenthalt an der Bergischen Universität in Wuppertal bewilligt. Beide Professoren waren hoch interessiert, somit ihre Fachkenntnisse auf Europäisches Niveau zu bringen und z. B. EUROCODES zu verstehen. Die Hochschulleitung im Heimatland verwehrte ihnen letztlich diesen Gastaufenthalt in Deutschland.



Bild 3-4: Standardwerk für Stahlbau-Anschlüsse  
Quelle: Fachprofessoren eines Entwicklungslands

Schon das Titelblatt des Standardwerkes zeigt einen Anschluss, der wegen der Toleranzprobleme und wegen des fertigungstechnischen Aufwands spätestens seit 1970 in Deutschland verworfen wurde, obwohl er in den USA üblich war. Rippenlose Kopfplattenanschlüsse mit der notwendigen Zahl passender HV-Schrauben traten stattdessen in Europa den Siegeszug an, da um ein Vielfaches effizienter in Fertigung, Montage und Berechenbarkeit, experimentell nachgewiesen in den Versuchshallen europäischer Universitäten.

Welche Auswirkungen auf Effizienz und Sicherheit ein solches Lehrbuch im jeweiligen Entwicklungsland letztlich hat, zeigt Bild 3-5 repräsentativ für Geschosßbauten.



Bild 3-5: Ineffiziente Anschlüsse eines typischen Geschosßbaus  
Quelle: Verfasser

Stützen werden als „Column Tree“ (Stütze mit abzweigenden Stummeln) ausgeführt, die wegen der vielen auskragenden Trägerstummeln nur aufwändig zu fertigen sind. Wegen ihrer Pratzigkeit erreichen sie die Baustelle oft deformiert. Die transportierten Bauteile werden auf der Baustelle auf einen Haufen gekippt und später nach Bedarf gewaltsam herausgezogen. Stark verformte Bauteile sind alltäglich.

Zumindest originell ist der in Bild 3-5 sichtbare Wechsel, der beidseitig schlicht auf den Untergurt der Unterzüge aufgelegt und jeweils mit einer Naht geheftet ist. Bedenken gegenüber dem Tragverhalten dieses Anschlusses sind begründet.

Die Stützenstöße in Bild 3-5 besitzen angeschweißte Anschlagbleche, die zum Einfädeln und Heften der oberen Stütze dienen. Nähte für einen biegesteifen Vollanschluss fehlen offenbar, obwohl derartige Stöße als biegesteif gerechnet werden.

Der Anschluss der Deckenträger an die Trägerstummel der „Column-Tree“ Stützen erfolgt lehrbuchmäßig im Momenten-Nullpunkt. Der Anschluss selbst ist dann aber so ausgeführt, dass das Vollmoment des Trägerprofils übertragen werden könnte. Das ist kostspielig, könnte aber im Erdbebenfall Reserven bieten. Der in Bild 3-5 sichtbare Untergurt wird, ebenso wie Obergurt und Steg, mit unsinnig vielen Schrauben angeschlossen. Da hier die 28 Schraublöcher im Gurt und die 28 Schraublöcher in der Lasche üblicherweise mit Bandmaß und Reißnadel oder Kreide angerissen und mit einer Radialbohrmaschine oder Handbohrmaschine gebohrt werden, fluchten zueinander gehörenden Bohrungen nur selten. Bekommen die Monteure deshalb Schrauben nicht in die Bohrungen hinein, werden sie weggelassen oder die Löcher mit einem Freihand-Brennschnitt vergrößert bzw. mit voll aufgedrehtem Schweißtransformator „aufgeblasen“. Die gleiche Toleranzproblematik herrscht am Stegananschluss der Unterzüge, mit 16 Schrauben und zwei Laschen angeschlossen. Auch deren 48 Bohrungen erfordern „On-site Reworks“.

Die Obergurte werden ebenso angeschlossen wie die Untergurte. So kommen für den Anschluss leicht über einhundert Bohrungen zusammen, plus Nacharbeit.

Der Vergleich von Bild 3-5 mit dem für diese Fälle üblichen Anschluss in Europa nach Bild 3-6 veranschaulicht die unterschiedliche Effizienz.

Anlage 1.222 zum Prüfbescheid II B 2-543-778 vom 04.11.2002

Momententragfähige I-Trägeranschlüsse

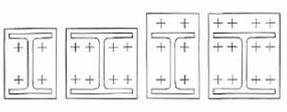
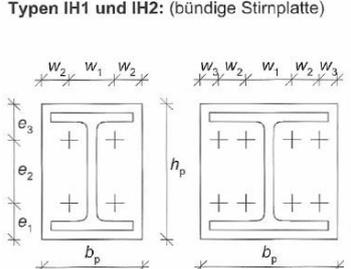
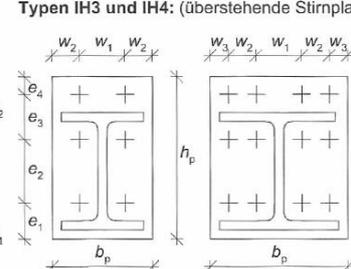
| Momententragfähige Träger-Stützenanschlüsse mit Stirnplatte  |                    | IH<br>S 235<br>10.9 |   |  |       |   |       |       |       |       |        |       |                         |       |       |       |       |             |            |     |     |     |  |
|--|--------------------|---------------------|---|---|-------|---|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|-----|-----|-----|--|
| <b>Abmessungen</b>   |                    |                     |   |   |       |   |       |       |       |       |        |       |                         |       |       |       |       |             |            |     |     |     |  |
| <b>Typen IH1 und IH2: (bündige Stirnplatte)</b><br> |                    |                     | <b>Typen IH3 und IH4: (überstehende Stirnplatte)</b><br> |   |       | $a_t$ : Kehlnahtdicke an den Trägerflanschen<br>$a_w$ : Kehlnahtdicke am Trägersteg<br>$t_p$ : Stirnplattendicke<br>$S_{j,ini}$ : elastische Steifigkeit<br>(Mit Hilfe dieses Wertes ist der Anschluss hinsichtlich der Steifigkeit zu klassifizieren, siehe Erläuterungsabschnitt) |       |       |       |       |        |       |                         |       |       |       |       |             |            |     |     |     |  |
| <b>Abmessungen (in mm) und Steifigkeiten (in MNm/rad)</b>  |                    |                     |   |   |       |   |       |       |       |       |        |       |                         |       |       |       |       |             |            |     |     |     |  |
| Nr.  | Anschluss          |                     | Stirnplatte   |   |       | Stirnplattengeometrie   |       |       |       |       | Kehln. |       | Steifigkeit $S_{j,ini}$ |       |       |       |       |             |            |     |     |     |  |
|  | Trägerprofil S 235 | Typ                 | Schr. 10.9  | $t_p$   | $b_p$ | $h_p$   | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | $e_4$ | $u_1$  | $u_2$ | $w_1$                   | $w_2$ | $w_3$ | $a_w$ | $a_t$ | ohne Stütze | IPE        | HEA | HEB | HEM |  |
| 121  | IPE 500            | IH1.1               | M 20  | 30  | 200   | 560   | 85    | 390   | 85    |       | 30     | 30    | 100                     | 50    |       | 4     | 5     | 172,1       | Trägerstoß |     |     |     |  |

Bild 3-6: Typisierte Stirnplatten im Stahlhochbau nach DSTV  
 Quelle: Deutscher Stahlbau-Verband DSTV

Auch nach einigem Nachdenken bleibt das Festhalten der Ingenieure in Entwicklungsländern an derartig massiver Ineffizienz erstaunlich. Der Grund liegt im Bildungssystem, denn die Normungsgremien, darin jeweils beste Fachleute ihres Landes, gehen nicht immer mit gutem Beispiel voran. Der folgende, in einer Baunorm dargestellte Anschluss Bild 3-7 hätte als landesweit ständig wiederholtes Vorbild intensive Forschung und Entwicklung sowie größte Sorgfalt gerechtfertigt:

Dieser Anschlusstyp wird für alle Hallentragwerke des betreffenden Landes verwendet, vermutlich über zehntausendmal pro Jahr. Beginnen wir mit der Sorgfalt: Der geneigte Leser möge die Anzahl der Steifen in der Hauptansicht mit der Anzahl der Steifen im zugehörigen Schnitt vergleichen. Beide müssten gleich sein, sind es aber nicht.

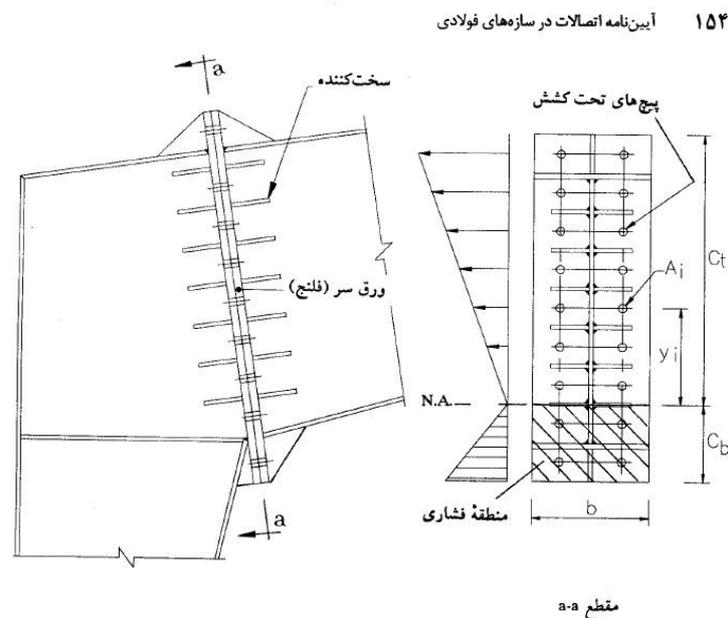


Bild 3-7: Kostenignoranz und Flüchtigkeitsfehler in Baunormen  
Quelle: Iranische Baunorm für Stahlbau, Ausgabe 264, Seite 154

Flüchtigkeitsfehler sind peinlich, aber nicht so schwerwiegend wie die inhaltlichen Mängel dieser kostenträchtigen Musterlösung. Vor mehr als 40 Jahren wurden in Deutschland Forschungsprojekte durchgeführt, um in der gesamten Branche die Kosten für unnötige Steifen einzusparen. „Steifenlose Verbindungen“ haben sich dann in der Stahlbaupraxis Europas durchgesetzt. Das Forschungsergebnis zur Vermeidung von Steifen ist simpel: Die Dicke der Stirnplatten muss passend erhöht werden, dann braucht man keine aufwändigen Steifen mehr. In der Musterlösung können so also 28 + 4 Steifen inklusiver ihrer Nähte vermieden werden. Schon bei Hallen mit nur 10 Rahmen entfallen dann 640 überflüssige Steifen.

Die Steifen werden zudem ohne „Eckausnehmungen“ ausgeführt. Es bildet sich dadurch im Kreuzungspunkt der drei Nähte der Steife ein gefährlicher dreiaxialer Zug-Eigenspannungszustand aus. Die Duktilität des Stahls geht dadurch verloren, er ist im Kreuzungspunkt spröde. Für den Erdbebenfall bietet die Musterlösung daher kritische Schwachpunkte, der Vorteil des Stahls ist nicht gewahrt.

Die hohe Anzahl der praktisch wirkungslosen Schrauben der Musterlösung Bild 3-7 wird gedankenlos für fast alle Bauprojekte des Landes übernommen. Ohne die Notwendigkeit von Steifen zu rechnen, wird wegen dieser Musterlösung zwischen zwei Schrauben jeweils eine Steife gesetzt. Stahltragwerke sind daher ohne Rücksicht auf Kosten und Zeitaufwand konstruktiv total verrippt, siehe Bild 3-8.

So erspart sich der Tragwerksplaner Arbeit und das Tragwerk wird unnötig teuer. Kunden, Baufirmen und Statiker folgen blind der nicht durchdachten Musterlösung der Norm und übertragen die unnötige Verrippung generell auf alle Anschlussarten, verschlimmert durch eine unnütz hohe Zahl an Schrauben. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass Schraubenköpfe, Unterlegscheiben oder Muttern teilweise auf Schweißnähten der Rippen bzw. Steifen aufsitzen, wodurch sich die Tragfähigkeit verringert.

Festgehalten sei, dass fast alle Verrippungen sich erübrigen, wenn nur die Stirnplattendicke maßvoll erhöht wird. Der Fertigungsaufwand eines Anschlusses wird dadurch mehr als halbiert, also weitaus effizienter.

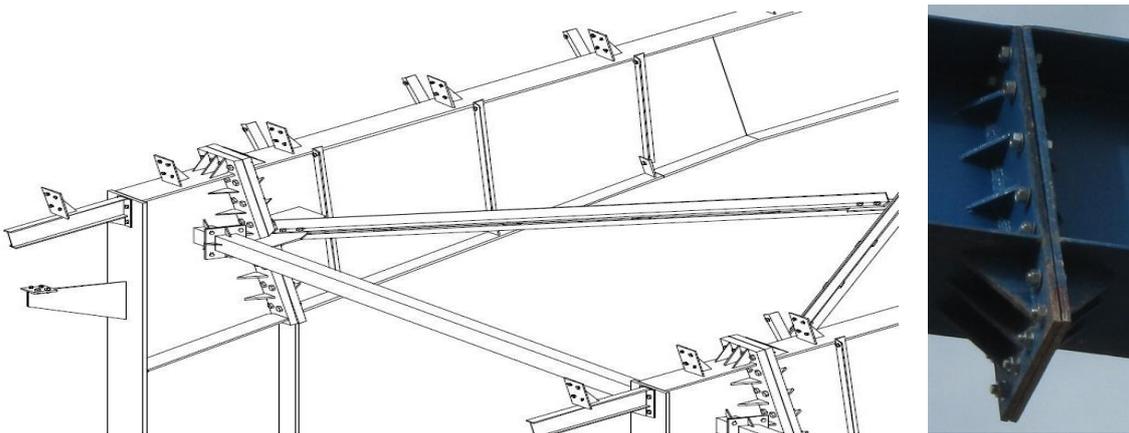


Bild 3-8: Vermeidbare Verrippungen, zu viele Schrauben, Folgeprobleme  
Quelle: Verfasser

Es liegt nahe, diese sehr nachteilige, landestypische Konstruktionsweise - Kosten und Bauzeit gedankenlos ausblendend - durch geeignete Ausbildung von führenden Ingenieuren und Trendsettern unter den Auftraggebern schrittweise zu effizienten und sicheren Lösungen zu führen, wie sie sich in Europa bewährt haben. Auch hier

aber stellt die Ausgangslage des Wirtschafts- und Bildungssystems hohe Hürden in den Weg. Es ist wenig realistisch, das Bildungssystem in Entwicklungsländern kurzfristig auf internationales Ingenieurniveau zu führen. Aber auch die entsprechende Weiterbildung weniger handverlesener Ingenieure aus Entwicklungsländern erwies sich als nicht zielführend, wie DAAD-geförderte Austauschprojekte an der BUW zur negativen Überraschung aller Beteiligten zeigten. Wie dennoch über Schlussfolgerungen aus der allgemein gegebenen Ausgangssituation in Entwicklungsländern eine funktionstüchtige, allgemeingültige Lösung angestrebt wurde, wird im folgenden Kapitel hergeleitet.

## 4 Schlussfolgerungen aus der Ausgangssituation

Die Wirtschaftssysteme vieler Entwicklungsländer bieten nur geringe Möglichkeiten für Entwicklungshilfe mit nachhaltiger Weiterführung der Projekte aus eigener Kraft. Die Vereinten Nationen zeigen aber, dass dennoch positive Einzelfälle von erfolgreichen Unternehmen zu beobachten sind. Im United Nations Development Programme (UNDP) wurden Erfolgsbeispiele privater Unternehmen in Entwicklungsländern gesucht und gefunden [1-2 und 1-4]. Diese wurden deshalb als vorbildlich herausgestellt, weil sie ohne Subventionen profitabel arbeiten und so zur Erfüllung der Millenniumsziele des UNDP beitragen. Die Fallbeispiele werden durch Veröffentlichungen des UNDP weltweit bekannt gemacht. Für Entwicklungsländer allgemeingültige Schlüsse aus dieser UNDP-Untersuchung sind daher gerechtfertigt.

Die Analyse der vorgestellten Erfolgsbeispiele ergibt ein interessantes Erkenntnis: Startvoraussetzung und Erfolgsgrund für Nachhaltigkeit in Entwicklungsländern war auffallend häufig gelungene Zusammenarbeit von Unternehmerpersönlichkeiten aus einem Entwicklungsland einerseits und einem entwickelten Land andererseits.

Als Schlussfolgerung gilt dies uneingeschränkt für das erste Fallbeispiel dieser Arbeit, hier dem Unternehmerteam der Professoren J. Parvizian und G. Pegels. Das von ihnen zur Verifizierung der aufgestellten Theorie gegründete Stahlbau-Unternehmen wurde im UNDP-Programm untersucht und schließlich ausgewählt als allgemeingültiges Beispiel „aus eigener Kraft“. Die entsprechende Veröffentlichung des UNDP [1-4] sei daher im Folgenden auszugsweise zitiert, durch Kursivschrift kenntlich gemacht:

### ***Growing Inclusive Markets***

#### ***Case Study: Housing and Schools in Iran Affordable Earthquake-Safety, Job Opportunities, Sustainability***

##### ***Executive Summary:***

*With poverty comes vulnerability, and nothing exposes the vulnerabilities of people living in poverty more than natural disasters. To reduce construction costs, often unsafe construction methods and material are used to build houses. Corruption and lenient monitoring exacerbates this situation.*

*Population growth in developing countries accordingly asks for new safe homes and new jobs to address the coming generations of mostly low-income people in a situation where there is great emphasis on environmental sustainability. This might seem like a hopeless combination of too many challenging goals, but solutions are arising to address such challenges. The profitable spin-off enterprise Saraman in Isfahan in central Iran, co-founded by an Iranian and a German professor, is an example of addressing housing and construction challenges in a profitable way. Moved by the*

*shocking earthquake of Bam in 2003, realizing the problems of safety, inefficiency and cost of traditional constructions and seeing the opportunity of addressing the large baby-boom population of the 1980s whose need for safe and affordable housing cannot be met with conventional approaches, they decided to utilize state of the art technology in an inclusive and environmentally friendly way.*

*The company designs, fabricates and erects affordable, earthquake-proof prefabricated steel structures for houses, schools and hospitals. Through collaboration among German and Iranian universities and their corporate partners, state of the art technology is adapted to reduce cost and time of earthquake-proof construction, using locally available material in an environmentally friendly way. In addition, special training is provided to facilitate exchange of know-how and develop employment opportunities for young graduates who later implement the practice in Iran. So far about 400 Iranian students, scholars and experts participated in annual DAAD summer schools at the University of Wuppertal (BUW) in Germany.*

*By using modular design, safety-related skill-intensive parts are separated and prepared by skilled workers; hence the rest of the work can be assigned to jobless low-skilled workers without concern about safety and quality. Saraman currently has a team of 12 permanent employees and more than 65 temporary ones. Many more jobs are created for the lower income communities who directly or indirectly engage in the construction projects. In the last two years, since Saraman moved from the know-how development phase to the commercial phase, more than 27 projects, mostly schools and other public constructions, with a total turnover of about 3.2 million Euros (US\$3.9 million), have been awarded to Saraman.*

*As a stepping stone, Saraman started with public constructions, especially schools – which are teaching examples to civil society on how to build easily verifiable earthquake-safe buildings. With the awareness they created and the reputation they gained in public construction, they aim at entering the mainstream market of earthquake-proof housing.*

Aus der Ausgangssituation von Wirtschaftssystemen in Entwicklungsländern folgt als weitere wesentliche Schlussfolgerung:

Für ein Start-Up Unternehmen sind das angestrebte Produktspektrum und der Kundenkreis vorab sehr durchdacht passend zu den lokalen Gegebenheiten zu wählen. Umgekehrt gilt auch, welche Spektren und Kunden konsequent zu meiden sind.

Wie im o. g. UNDP-Bericht bereits vorgestellt, sind Krankenhäuser und Schulen für das gegründete Stahlbau-Unternehmen ein geeignetes Produktspektrum. Sie sind nämlich in Entwicklungsländern Vorrangprojekte. Diese Bauten müssen sich im Erdbebenfall positiv bewähren. Ist dies nicht der Fall, wie beispielsweise in China beim Erdbeben in Sichuan 2008 mit etwa 80.000 Toten, darunter auch Schulkinder, so fällt die Verantwortung ausschließlich auf staatliche Stellen und öffentliche Personen. In diesen Fällen wird Pfusch am Bau und Übleres also gerichtlich untersucht und tatsächlich geahndet. Deshalb haben zuverlässige und fachkompetente Privatunter-

nehmen in diesem Marktsegment auch gegen Quasi-Staatsunternehmen realistische Chancen, Aufträge zu erhalten und mit Positivreferenzen das Marktsegment stärker zu bedienen.

Für die Gruppe von Schwellenländern kann dieses Produktspektrum sinnvoll auf erdbebentüchtige Parkhäuser mit Verbunddecken und auf leichten bis mittleren Industrie- und Verwaltungsbau erweitert werden.

Konsequent auszuschließen sind Prestigebauten und in Abhängigkeit von den politischen Randbedingungen Embargo-relevante Kunden.

Die schwierige Ausgangssituation in Entwicklungsländern erfordert bedeutsame Alleinstellungsmerkmale der Produktidee, um die sich auftürmenden Widerstände des Wirtschaftssystems kompensieren zu können.

Ein entscheidendes Alleinstellungsmerkmal, in Kapitel 7 erörtert, ist in Entwicklungsländern Sicherheit und Effizienz. Die dortige Baupraxis zeigt, dass dieses Ziel konventionell nicht erreicht wird. Daraus folgt der zunächst kühn erscheinende Schluss, ausgerechnet in Entwicklungsländern automatisierte Hochtechnologie in Form von CAD/CAM/CNC-Prozessketten einzuführen, obwohl im Widerspruch zur dortigen Ingenieurausbildung. Durch Automatisierung ist Sicherheit und Effizienz weitgehend unabhängig von landesüblicher Ausbildung und Arbeitskultur zu gewährleisten, sofern ein kleines Kernteam an Leistungsträgern die spezielle Ausbildung dazu erhält. Für Effizienz gilt zudem, durch passgenaue Fertigung im Werk jegliche Nacharbeit auf der Baustelle einzusparen, die in Entwicklungsländern Kosten und Bauzeiten ausufern lassen und die Sicherheit massiv gefährden.

In allen erdbebengefährdeten Entwicklungsländern bietet sich als herausragendes Alleinstellungsmerkmal zusätzlich „sichtbare Erdbebensicherheit“ an, wie sie z. B. Fachwerkbauweise mit von außen sichtbaren, auch architektonisch betonten Fachwerkdagonalen bietet. Landesübliche Korruption und Betrug (Weglassen von im Erdbebenfall benötigten Bauelementen) ist bei so hergestellter Offensichtlichkeit weniger wahrscheinlich. Diese überragende Eignung der Fachwerk-Bauweise mit Fachwerkdagonalen unter den speziellen Randbedingungen von Entwicklungsländern veranschaulicht Bild 4-1 mit einem direktem Vergleich benachbarter Bauten in Fachwerk- bzw. moderner Stahlbeton-Bauweise nach einem mittleren Erdbeben. Die Stahlbeton-Rahmenkonstruktion versagte wegen unzureichender vertikaler Stabilisierung, z. B. durch geeignete Bewehrung, ggf. unsichtbar im Beton.

Stahlfachwerke sind nochmals erdbebentüchtiger als Holzfachwerke, zudem durch Termitenfraß nicht gefährdet. Herausgestellt sei, dass der Architekturstil von Fachwerkhäusern den Bewohnern des Hauses – also den Betroffenen selbst – eigene Kontrollmöglichkeit der Erdbebensicherheit ihres Wohnhauses gibt. Die grundsätzliche Bedeutung von Fachwerkbauweise für Wohnbauten in Entwicklungsländern wurde deshalb in mehreren Veröffentlichungen des Wuppertaler Forschungsteams herausgestellt [4-1 bis 4-5]. Die in Kapitel 7.5 tiefergehend mit strategischer Produktentwicklung erörterte Stahl-Fachwerkbauweise mit industrieller Werkstattfertigung des Tragwerks ist eine - womöglich sogar die einzige - in Entwicklungsländern mit Starkbebenrisiko und Pfusch am Bau beherrschbare, sichere Methode. Der moderne Massivbau mit unkontrollierbarer Baustellenfertigung ist prinzipbedingt nicht geeignet: Spröde Wände als „shear walls“ anstelle von Stahlverbänden versagen bei Starkbeben durch Sprödbbruch, siehe Bild 4-1. Bei geringeren Erdbeben versagen sie schon früher, wenn typische Ausführungsmängel hinzukommen.



Bild 4-1: Erdbebentüchtigkeit von Fachwerk- bzw. moderner Betonbauweise  
Quelle: [4-6]

Alle bisher genannten Schlussfolgerungen sind zwar durchweg plausibel, müssen aber erst noch überzeugend in der Baupraxis von Entwicklungsländern bewiesen werden.

Die Konzeption eines Musterwerkes dazu muss Verfahren und Methoden umfassen, die menschliche Fehlerquellen und Kompetenzmängel ausschließen. Die Unternehmenskonzeption ist folglich ein Unternehmen des Stahl- und Verbundbaus, ausgezeichnet durch eine lückenlos durchgehende CAD/CAM/CNC-Prozesskette mit CAD-Planung und -Detaillierung, mit anschlagnfrei über Flurförderung verknüpften CNC-Bearbeitungszentren, Produktentwicklung zu systematisierten Anschlussarten mit Ähnlichkeitsteilen und Fachausbildung eines kleinen, ausgesuchten Mitarbeiterteams. Dies wird in den Kapiteln 6 und 7 hergeleitet und in der Baupraxis nachgewiesen.

Übergeordnet sind nun bezüglich dieser Wahl der Produktionstechnik grundsätzliche Betrachtungen sinnvoll. Im ersten Schritt ist das Marktprinzip zwischen Kunden und Herstellern in Entwicklungsländern zu analysieren, das auf die Konzeption ganzheitlich optimierter Produktionstechnik entscheidenden Einfluss hat. Die Marktprinzipien sind länderspezifisch nämlich sehr unterschiedlich:

In Deutschland ist die Tendenz zu erkennen, dass Bauten zu einem Pauschalpreis gesamtverantwortlich aus einer Hand schlüsselfertig von der Planung bis zur Wartung geliefert werden, hier Modell 1 genannt.

Im Gegensatz dazu ist es z. B. in angelsächsischen Ländern üblich, dass die Planung durch Architekturbüros erfolgt, ohne dass der Fertiger feststeht. Dazu sucht man später den billigsten Bieter, üblicherweise auf Basis eines Tonnenpreises für das Stahltragwerk, hier Modell 2 genannt.

Modell 1 „aus einer Hand“ fördert und fordert das Nachdenken über eine insgesamt günstige Lösung zum Pauschalpreis. Modell 2 ist einer solchen Lösung eher abträglich, wird aber in Entwicklungsländern vorwiegend eingesetzt.

Das Muster-Unternehmen wird deshalb zunächst nach dem in Entwicklungsländern üblichen Modell 2 anbieten und arbeiten müssen. Erst bei fortgeschrittenem Markterfolg und Bekanntheitsgrad ist ein schrittweiser Übergang zum Modell 1 - Gesamtangebot aus einer Hand - denkbar und Erfolg versprechend.

Im zweiten Schritt ist zu klären, welches der Prinzipien der Produktionstechnik – Werkstattfertigung, Fließfertigung oder ortsgebundene Baustellenfertigung – Erfolgsaussichten bei beherrschbaren Risiken unter den lokalen Randbedingungen von

Entwicklungsländern bietet. G. Pegels hat dazu bereits 1971 in [4-7] diese Prinzipien der Produktionstechnik für den Stahlbau vorgestellt und anschließend erste Firmen, z. B. DONGES Darmstadt, überzeugen können, die Fertigungsprinzipien des weit fortgeschrittenen Maschinenbaus erstmals im Stahlbau einzusetzen. In der Folge hat sich diese Produktionstechnik, letztlich mit CAD/CAM/CNC-Prozessketten, branchenweit durchgesetzt [4-7 bis 4-30]. Diese Veröffentlichungen dienen als Basis dieser Arbeit, hier ergänzt und weiterentwickelt für die Randbedingungen von Entwicklungsländern.

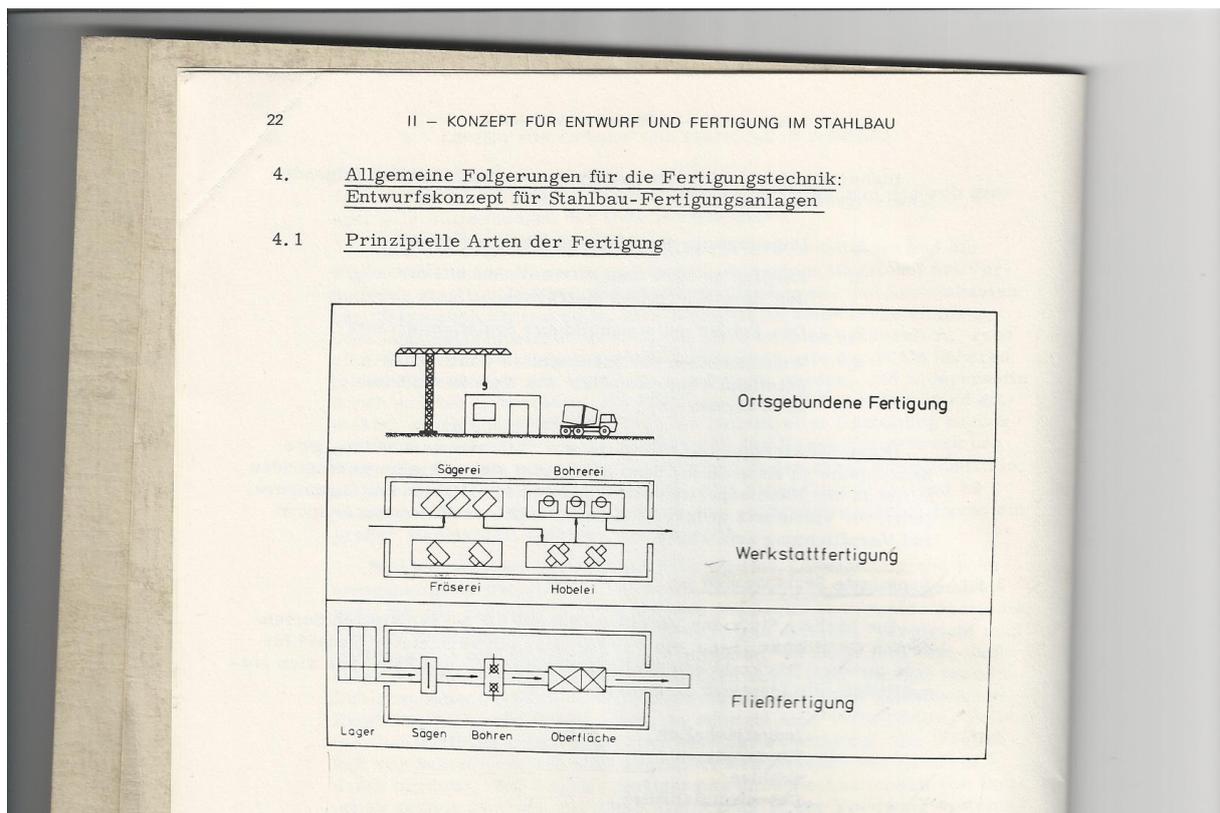


Bild 4-2: Fertigungsprinzipien im Bauwesen  
Quelle: [4-8, Seite 22]

Mangelhaft geschweißte Montagenähte sind in Entwicklungsländern der häufigste Grund für Totalversagen von Bauten mit Stahltragwerk. Diese gemeingefährliche Ausgangssituation lässt nur einen konsequenten Schluss zu: In Entwicklungsländern ohne hinreichend ausgebildete Schweißer und Prüfer müssen Montagenähte schon in der Planung generell ausgeschlossen werden. Dazu sind Ingenieure bereits an den Hochschulen zu präkonditionieren, auch durch ein schweißtechnisches Pflichtpraktikum mit eigener, handwerklicher Tätigkeit. Die Ausgangssituation ist allerdings konträr zu dieser Erkenntnis. In Entwicklungsländern muss also zumindest für sicherheitsrelevante Bauteile ortsgebundene Baustellenfertigung grundsätzlich ausge-

geschlossen werden. Diese harte Maßnahme wäre auch in Industrieländern fast revolutionär, erscheint aber in Entwicklungsländern zwingend erforderlich, wie im Detail noch gezeigt wird.

Somit wird für das erste Fallbeispiel, beschrieben im UNDP-Bericht, die Fließfertigung nach Bild 4-2 zu wählen sein, da bezüglich Sicherheit und Effizienz im angestrebten Produktspektrum allen sonstigen Fertigungsprinzipien erheblich überlegen. Die Investitionskosten für Maschinen und Ausbildung des Personals sind jedoch erheblich und können in Entwicklungsländern prohibitiv sein, wenn kein weitsichtiger Investor gefunden wird. Die detaillierte Erörterung folgt in Kapitel 7.

Für das zweite Fallbeispiel, eine Schlosserei für erdbebentüchtige Schulen/Kinder-gärten in Tansania, ist die Werkstattfertigung nach Bild 4-2 erschwinglicher, die hier auf Flurförderung und CAD/CAM/CNC-Prozessketten verzichtet.

Das Kopfbolzenschweißen, durch den automatisierten Prozess und die simple Hammerschlag-Prüfmethode (Bild 6.3-2) das bisher einzige sichere Schweißverfahren auf Entwicklungsland-Baustellen, wird hier weiterhin empfohlen. Trapezbleche oder Schwalbenschwanzbleche werden damit effizient z. B. als verlorene Schalung auf Unterzüge von Geschossbauten mit Automaten deutschen Fabrikats auf- und durchgeschweißt, Bild 4-3. Bei stabiler Stromversorgung, zumindest im Iran gegeben, arbeiten diese Schweißautomaten zuverlässig, wie alle ausgeführten Projekte zeigten.



Bild 4-3: Automatisches Kopfbolzenschweißen, auch auf Baustellen sicher  
Quelle: Verfasser

Zwingend erforderlich war allerdings eine sorgfältige Auswahl und Ausbildung aller beteiligten Schweißer und der Prüfengeure sowie konsequente Kontrolle der Schweißergebnisse, wie in Kapitel 6.2 beschrieben. Ansonsten wären Qualitäts- und Sicherheitsprobleme zu befürchten, die in Deutschland beispielsweise zu sehr zurückhaltendem Einsatz der Kopfbolzen-Durchschweißmethode geführt haben.

Zusammenfassend werden nun folgende Erkenntnisse und Schlussfolgerungen als Handlungskonzept für Entwicklungsländer mit Starkbebenrisiko festgehalten:

- Industrielle Stahlfachwerk-Bauweise des Tragwerks, Massivbau lediglich für raumabschließende Bauelemente, nicht für tragende Komponenten
- Ausschließlich Werkstattfertigung bzw. Fließfertigung aller sicherheitsrelevanten Tragwerkskomponenten, keine Baustellenfertigung
- Als Fügeverfahren werden auf der Baustelle ausschließlich Schraubverbindungen eingesetzt. Montagenähte sind also ausgeschlossen mit Ausnahme automatischen Kopfbolzenschweißens unter Aufsicht und konsequenter Kontrolle durch ausgebildete Prüfer, siehe Bild 4-3
- Bauteile werden im Werk systematisch mit Passtoleranzen hergestellt, also wesentlich enger toleriert, als es die landesspezifischen Baunormen zulassen würden. Durch die CAD/CAM/CNC-Prozesskette werden die Zusammenbauteile (Hauptpositionen) an den Anschlüssen mit so geringen Toleranzen gefertigt, dass das planmäßige Lochspiel der Schraubverbindungen auf Antrieb für klemmungsfreie Montage ausreicht. Diese Toleranzen werden daher Passtoleranzen genannt. Jegliche Nachbesserung auf der Baustelle, also „On-Site-Reworks“, entfällt.

Es verbleibt das besonders heikle Personalproblem, das durch fehlende duale Ausbildung und praxisferne Lehre an Universitäten von Entwicklungsländern sowie wenig erfolgsorientierte Arbeits- und Sicherheitskultur flächendeckend herrscht.

Die am Bau Beteiligten bestehen auf den im Lande gewohnten Lösungen, z. B. den Musterlösungen der Baunorm. Die Änderung dieser Gewohnheiten zugunsten effizienter, sicherer Lösungen auf international führendem Niveau stößt auf kulturelle Grenzen. Zumindest aber ist ein langwieriger Überzeugungsprozess über eine oder mehrere Generationen abzusehen, solange der Konkurrenzdruck des Weltmarkts fehlt.

Die angestrebte Lösung des Personalproblems durch ein kleines, handverlesenes Team von Leistungsträgern, bei technologischen Weltmarktführern in entwickelten Ländern bestens ausgebildet, wird in Kapitel 7 behandelt.

Insgesamt birgt das weitgehend desolate Niveau der Produktionstechnik von marktbeherrschenden Bauunternehmen in Entwicklungsländern auch unter sehr schwierigen Randbedingungen die Chance, schrittweise Zug um Zug ein Start-Up Unternehmen wesentlich höheren Effizienz- und Sicherheitsniveaus aufzubauen. Unter diesen Verhältnissen bieten selbst kleine Schritte erhebliche wirtschaftliche Vorteile, die eine Kompensation der gravierenden Nachteile des Wirtschaftssystems möglich erscheinen lassen.

Vor diesem Hintergrund effiziente, sichere Produktionstechnik für Entwicklungsländer herzuleiten und in einem Start-Up Unternehmen in der Alltagspraxis zu beweisen, braucht lehrreiche Vorbilder aus Industrieländern, wie im folgenden Kapitel 5 erörtert.

## 5 Gesamtkonzeption von Vorbild-Bauunternehmen in Europa

Zur Entwicklung vorbildlicher Unternehmenskonzeptionen werden deutsche und europäische Baufirmen betrachtet. Manche gingen gegen den Trend der Baukrise von 1995 bis 2005 (Bild 5-1) nicht in Konkurs, sondern wuchsen im Gegenteil profitabel. Diese gestärkt aus der Baukrise hervorgegangenen Baufirmen haben eine Wettbewerbsfähigkeit entwickelt, die weltweit führend ist.

Es bleibt zu prüfen, inwieweit die Konzeptionen dieser Erfolgsunternehmen auf die Verhältnisse von Entwicklungsländern übertragbar bzw. adaptierbar sind, um die höheren Hürden der dortigen Wirtschafts- und Bildungssysteme zu kompensieren.



Bild 5-1: Beschäftigte im deutschen Bauhauptgewerbe von 1970 bis 2010  
Quelle: [5-1, Statistisches Bundesamt]

Als Untersuchungsbasis dienen die Erfahrungen, die G. Pegels im Rahmen wissenschaftlicher Beratung zur Produktionstechnik des Stahlbaus von über 200 Firmen in Europa seit 1971 bis heute gewann. Die allgemeingültigen Erkenntnisse daraus wurden in den Doktorandengesprächen seines Lehr- und Forschungsgebiets erläutert sowie in den Veröffentlichungen [4-7 bis 4-30] zumeist an konkreten Fallbeispielen dokumentiert. Die Untersuchungsbasis umfasst Firmen jeder Größenordnung, bis heute erfolgreiche, aber auch gescheiterte.

Um klarer herauszuarbeiten, welche Unternehmenskonzeptionen nachhaltig profitabel sind und welche gemieden werden müssen, seien zunächst anonymisiert erfolgreiche mit gescheiterten Unternehmen verglichen. Den gescheiterten Unternehmen gemeinsam erscheint ein Mangel an wissenschaftlich fundierter, strategischer Vorplanung, welche wirtschaftlich interessanten Märkte wie bedient werden müssen, um nachhaltig profitabel zu bleiben.

Das hat Gründe im Unternehmertum. Bei den verglichenen Unternehmen ergab sich nämlich überraschend ein grundsätzlicher Unterschied der Unternehmer selbst, der in der Folge auch die Mitarbeiter prägte.

Herausragend erfolgreiche Unternehmer waren auch bei nicht ingenieurbasierter Ausbildung ungemein lernbegierig bis hin zu einem ausgeprägten Forscherdrang. Sie wollten das Potential vertieft verstehen, das mit neuen Technologien und neuen Märkten erschließbar werden könnte, ggf. sogar als Pilotanwender vor allen Mitbewerbern. Alle diese Unternehmer hatten in jungen Jahren in der Arbeitswelt der Branche Basiskenntnisse als Schweißer und Monteure gewonnen, d. h. die Unternehmen wurden mit fundierter technischer Fachkenntnis des Metiers und Milieus geführt. Ähnliche unternehmerische Qualitäten sind auch in besonders erfolgreichen Automobilfirmen zu beobachten, die primär durch Ingenieure geführt werden.

Die Unternehmer weniger erfolgreicher oder gar gescheiterter Unternehmen waren demgegenüber kaum lernbegierig und scheuten größere, eigene Entwicklungs- und Forschungsarbeiten zu Neuerungen. Sie waren mit den Tagesproblemen vollauf beschäftigt. Dies ist bewusst keine Kritik. Nach dem Wirtschafts-Nobelpreisträger Daniel Kahneman, einem mathematisch hochbegabten Psychologiewissenschaftler, ist nämlich zu bedenken, dass professionelle, zukunftsgerichtete Strategien nicht nur Geschicklichkeitsspiele sind, sondern naturgemäß zufallsabhängige Glücksspiele auf unbekannte Zukunft. Pech oder Glück können jeden treffen, auch Könner. Dennoch haben offenbar die besonders erfolgreichen Unternehmer die Grenze zwischen Geschicklichkeitsspiel und Glücksspiel deutlich zugunsten der Geschicklichkeit verschoben. „Da ist Verstand bei“ war ein besonders einprägsames Lob nach wissenschaftlicher Beratung dieser lernbegierigen Erfolgsunternehmer.

An einer zunächst im Maschinenbau eingeführten, neuartigen Schlüsseltechnologie der Produktionstechnik sei das unterschiedliche Verhalten unter den Stahlbau-Unternehmern veranschaulicht. Rechnergestütztes Konstruieren (CAD) wurde zunächst von finanzkräftigen Automobilfirmen und Flugzeugbauunternehmen in Pilotanwen-

derung eingeführt, um damit ohne menschliches Zutun numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen die rechnergestützt konstruierten Teile automatisch fertigen zu lassen. Diese Technologie wird heute nach gründlichem Ausreifen in Forschung und Anwendung CAD/CAM/CNC-Prozesskette genannt. Sie wird inzwischen aus Gründen der Effizienz und Sicherheit weltweit in allen Industriezweigen eingesetzt.

G. Pegels erläuterte im Jahr 1971 in [4-8], 1976 in [4-9] und 1977 als Plenarvortrag auf dem Deutschen Stahlbautag in Stuttgart [4-10] diese selbst im Maschinenbau damals neuartige Produktionstechnik mit entsprechender Adaption für die Anwendung im Stahlbau. Die Mehrheit der Stahlbau-Unternehmer beurteilte zunächst den Einsatz derartiger Technologien im etablierten Stahlbau als realitätsferne, unverantwortbar teure Spinnerei, selbstverständlich wohlwollend netter formuliert. Andere jedoch, später die besonders Erfolgreichen, erkannten das Potential, bei allen Forschungsrisiken ausgerechnet im individuellen Stahlbau ein bisher nicht bekanntes Maß an Effizienz und Sicherheit, letztlich auch Profit und Lebenstüchtigkeit, erarbeiten zu können. In oft nächtelangen, ingenieurwissenschaftlichen Diskussionen der folgenden Jahre wurde mit diesen Unternehmern herausgearbeitet, dass gerade der Stahlbau allgemeingültig ausgeprägt aus Teilefamilien fertigungstechnischer Ähnlichkeit besteht, wenn man diese systematisch anstrebt. Allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten und die damit verbundenen Potentiale von Teilefamilien aus fertigungstechnisch hinreichend ähnlichen Teilen wurden erkannt: Genau diese Teilefamilien individueller Teile könnten an den Stahlbau angepasste CNC-Bearbeitungszentren ausgehend von der CAD-Konstruktion ohne menschliches Zutun, d. h. ohne entsprechende Fehler, automatisch fertigen. Gleichzeitig würden CNC-Bearbeitungszentren aufgrund der inhärenten Genauigkeit der CAD/CAM/CNC-Prozesskette das grundsätzliche Passungsproblem des Stahlbaus lösen, d. h. bei der Montage auf der Baustelle passen alle Montageschrauben sofort ohne Nacharbeit in ihre Löcher. Neuartige Anschlüsse mit Passbolzen einerseits und Passlöchern andererseits wurden denkbar, um selbstausrichtende Montage zu sichern. Anreißer würden entfallen und könnten zu CAD-Konstrukteuren umgeschult werden. Als Teilefamilien des Stahlbaus wurden Profilstäbe mit U, L und H-Querschnitt erkannt, Rohre und Rundeisen, sowie Bleche und dazu unterschiedlich Dünobleche. Entsprechende Fließfertigungslinien pro Teilefamilie mit anschlagfreier Flurförderung wurden konzipiert und mit der Werkzeugmaschinenindustrie verwirklicht. Die mit Rollgängen und Querpuffern verknüpften CNC-Zentren lösten zugleich das im Stahlbau dominante, innerbetriebliche

Transportproblem effizient und sicher. Durch die ingenieurwissenschaftliche Diskussion Forschung/Praxis wurde klar, dass die effizienten Technologien in aller Konsequenz forderten, das Produktspektrum, die Produktentwicklung und die Ausbildung der Mitarbeiter strategisch auf Teilefamilienfertigung auszurichten, ausnahmslos. Um dies in der Alltagspraxis lückenlos durchzusetzen, bietet sich mit CAD-Konstruktionsmethoden das geeignete Werkzeug, auch für firmenspezifisch optimierte, sich artgleich wiederholende Ähnlichkeitslösungen.

Die später weniger erfolgreichen Unternehmer beteiligten sich an dieser wissenschaftlichen Diskussion und Entwicklung nicht aktiv mitwirkend, sondern passiv abwartend. Sie versuchten allerdings nachträglich, andernorts ausgereifte Lösungen zu kopieren, wenn der Wettbewerbsdruck der Erfolgreicheren stark wurde. Mangels tiefer gehendem technischen Verständnis wurde dabei jedoch nicht das gesamte sich bietende Potential systematisch ausgeschöpft, somit das Unternehmen nicht umfassend auf effiziente Teilefamilienfertigung ausgerichtet.

Einige Firmen erwiesen sich gegenüber unerwarteten, überraschenden Marktänderungen besser gewappnet, z. B. durch langfristige Vorbereitung weiterer aussichtsreicher Produktlinien. Auch darin, welche für Teilefamilien ungeeignete Marktsegmente grundsätzlich nicht bedient und Wettbewerbern bewusst überlassen werden, unterscheiden sich Erfolgsunternehmen von Gescheiterten. Hier sei an die Problematik von Prestigebauten erinnert, etwa Klinikum Aachen, Flughafen Berlin oder Elbphilharmonie Hamburg. Unternehmer, die auf wissenschaftlicher Basis mögliche Entwicklungen des Marktes oder von Technologien mit fachkundigen Beratern konsequent zu Ende denken und nutzen, erweisen sich als erfolgreicher. Sie verdienen sich die Nase Vorsprung jedes Jahr wieder durch neue Produktentwicklungsarbeit. Diese führt zu entsprechend neu gestalteten Fließfertigungslinien bis hin zu neuen Werken für neue Produktlinien, z. B. für die Teilefamilie Gitterbinder, die weiten Vorsprung in Effizienz und Sicherheit gegenüber Mitbewerbern ermöglichen. Von Banken abhängige Firmen, die Kredite aufnehmen müssen, zeigten sich deutlich schwächer in der Nutzung von Marktchancen als Firmen, die ohne Banken zu fragen aus eigenem Vermögen binnen weniger Monate auch weitere Werke zu neuartigen Teilefamilien, z. B. der Solartechnik für Industriebauten, aufstellen können und dies in lohnenden Fällen tun. Auffallend ist, dass nur sehr wenige Unternehmer branchenfremde Entwicklungsideen in aller Konsequenz für das eigene Unternehmen verstehen und entschlossen verwirklichen, um Effizienz und Sicherheit zu steigern. Sinnvol-

ler Filter stark ausgelasteter Unternehmer ist dabei das Statement: „Eine Idee, die man nicht am nächsten Tag tatkräftig durchsetzt, war offenbar nicht gut genug“.

Teure Sondermaschinen geringer Auslastung, beschafft für erhoffte Prestigeaufträge, vermeiden erfolgreiche Unternehmer konsequent. Sie streben überragende Effizienz an und erreichen sie durch konsequente Ausrichtung auf wirtschaftlich interessante Teilefamilien bis zur Marktführerschaft.

Dabei ist zu beobachten, dass der nachhaltige Unternehmenserfolg nicht durch eine herausragende Leistung in Lösungseinseln begründet ist, sondern ineinander greifend in der möglichst umfassenden Spitzenposition in allen Punkten. Erst dann treten tatsächlich erhebliche Synergie-Effekte ein, die rasches und großes Wachstum selbst in Krisenzeiten in gesunder, also stets profitabler Form erlauben. Ziel ist eine Unternehmenskonzeption, die zu marktüberlegener Effizienz und über Generationen zu dauerhafter Lebenstüchtigkeit des Unternehmens führt.

Selbst noch in den letzten Jahren mit erkennbarer Besserung des Heimatmarktes mussten Traditionsunternehmen aufgeben. „Bauen, was an Aufträgen so kommt“ ist offensichtlich keine besonders lebensfähige Unternehmenskonzeption, die über viele Generationen tragfähig bleibt. Vor diesem Hintergrund erscheint es lohnend, nun detailliert wissenschaftlich zu ergründen, wodurch sich erfolgreiche Unternehmen im verwirklichten Detail unterscheiden, die gegen den sehr ausgeprägten negativen Trend der Branche auch in der Krisenzeit nicht nur überlebten, sondern stark und gesund gewachsen sind und dies weiter tun. Dahinter steckt nämlich eine gründlich überlegte, jährlich vor dem Wettbewerb weiter entwickelte Strategie, die zu einer besonderen Unternehmenskonzeption führt.“

Grundsätze einer solchen Unternehmenskonzeption mit Unternehmens- und Produktstrategie werden im folgenden Kapitel 5.1 zusammenfassend dargestellt und erörtert.

## 5.1 Unternehmens- und Produktstrategie

Die auch in Krisenzeiten besonders erfolgreichen Firmen sind in Europa oft mittelständische Familienunternehmen, die mit strategischen Grundsätzen für Generationen vorausdenken und planen. Im Gegensatz zu den im Bauwesen typischen Sublieferanten, die sich auf eine oft materialabhängige Sparte wie Stahlbau-, Holzbau oder Massivbau beschränken, decken weit überdurchschnittlich erfolgreiche Firmen umfassend das Konzipieren, Bauen und Betreiben ab, also auch branchenrelevante Dienstleistungen bis hin zum Public Private Partnership PPP.

Absehbare Entwicklungen des deutschen Marktes strategisch nutzend, werden mehrere dauerhaft profitable Produktlinien ermittelt und schrittweise dazu vorausschauende Produktentwicklung durchgeführt. Ziel ist, z. B. für Marktsegmente wie Logistikzentren, Verwaltungsbauten, Sporthallen, Industriehallen und Parkhäuser durch wesentlich höhere Effizienz und Wiederholhäufigkeit durchdachter Details geringere Herstellkosten und bessere Produktqualität zu erarbeiten als der gesamte Europäische Wettbewerb. Stets sind dies Felder, auf denen die Mitarbeiter des Unternehmens durch die bisherigen Alltagsarbeiten mit laufenden Projekten ohnehin bereits so kompetent sind, dass sie dafür freigestellt besser als der Wettbewerb umfassend durchdachte Lösungen entwickeln können. Die hier herausragenden Mitarbeiter werden in eine Gruppe „Produktentwicklung“ berufen, auch fallweise unterstützt von externen Beratern. Erst nach erfolgreich abgeschlossener Produktentwicklung werden dann die entsprechenden Märkte schrittweise angegangen und marktführend durchdrungen.

Allerdings, langfristige strategische Produktentwicklung mit mehreren Produktlinien ist in der Baubranche nur von wenigen Firmen bzw. Unternehmern in aller Konsequenz verstanden worden.

Der erste Schritt ist dabei immer der Heimatmarkt, der gerade in Deutschland besonders anspruchsvoll ist. Erst wenn hier die Produktlinie ausgereift ist und zur Marktführerschaft geführt hat, wird der Schritt in Auslandsmärkte mit speziellen Einstiegshürden als wirtschaftlich sinnvoll angesehen. Die Unternehmenskonzeptionen erfolgreicher mittelständischen Baufirmen unterscheiden sich von klassischen Baufirmen also auch durch Erfolge im Auslandsbau. Konkret steckt dahinter folgender Gedanke:

Neu in die Europäische Union aufgenommene Länder haben im Bauwesen einen typischen Nachholbedarf, der zur Erreichung eines gleichmäßigeren Wohlstandsniveaus von der Europäischen Gemeinschaft gefördert wird. Zunächst werden bei-

spielsweise zur Intensivierung des bilateralen Handels Logistikzentren benötigt, dann folgen Industriebauten für neue Industrieansiedlungen und Verwaltungsbauten sowie mit steigendem Wohlstand schließlich Parkhäuser.

Wie fehlgeschlagene Versuche zeigen, dürfen Auslandsmärkte nicht nach Erringen der Führungsposition in Deutschland mit der gesamten Produktpalette gleichzeitig angegangen werden, sondern nur mit einzelnen sorgfältig ausgewählten Produktlinien, so bald auch im Zielland der entsprechende Markt reif und ergiebig ist.

Dieser Gesichtspunkt wird bei der experimentellen Verifizierung dieser Arbeit eine strategisch wichtige Rolle spielen. Die Büros, Werkshallen und Fertigungsanlagen, aber auch die Auswahl und Ausbildung des Personals, müssen im Entwicklungsland auf das angestrebte strategische Produktspektrum ohne Überdimensionierung konzipiert und zugeschnitten werden. Welches Produktspektrum in einem konkreten Entwicklungsland ein profitabel lebensfähiges, neues Unternehmen erlaubt, ist dabei eine besonders interessante Frage, die in Kapitel 6.2 untersucht wird.

Um die Wahl geeigneter bzw. für Teilefamilien gänzlich ungeeigneter Marktsegmente zu verdeutlichen, seien Beispiele kommentiert, die bewusst nicht von den überdurchschnittlich erfolgreichen Unternehmen angeboten, sondern gern dem Wettbewerb überlassen werden. Sonderbauten der Stararchitekten der Welt, etwa Museen von Frank O. Gehry oder Brücken und Bahnhöfe von Santiago Calatrava sind in dieser Hinsicht aufschlussreich.

Auffallend häufig gingen die an begeisternden, aus dem Rahmen fallenden Prestigeaufträgen beteiligten Firmen anschließend in Konkurs oder mussten noch während der Bauphase durch andere Baufirmen ersetzt werden. Das sich über Jahre hinziehende, änderungsintensive und technisch anspruchsvolle Museumsprojekt M Art A in Herford, Bild 5.1-1, war beispielsweise für mehrere Subunternehmen verlustbringend bis zur Insolvenz. Das nach Prüfung hinreichenden Leistungsvermögens beauftragte CAD-Ingenieurbüro konnte diesen Prestigeauftrag zwar zur vollen Zufriedenheit erfüllen und überleben, jedoch nur knapp. Wertvoll für dieses CAD-Büro eines ehemaligen Wuppertaler Diplomanden blieb die gewonnene Erfahrung und Arbeitsmethode, wie kollisionsfrei mit bis zu zwölf CAD-Ingenieuren gleichzeitig die geforderten Konstruktionszeichnungen, Listen und CNC-Steuerinformationen erstellt werden konnten.

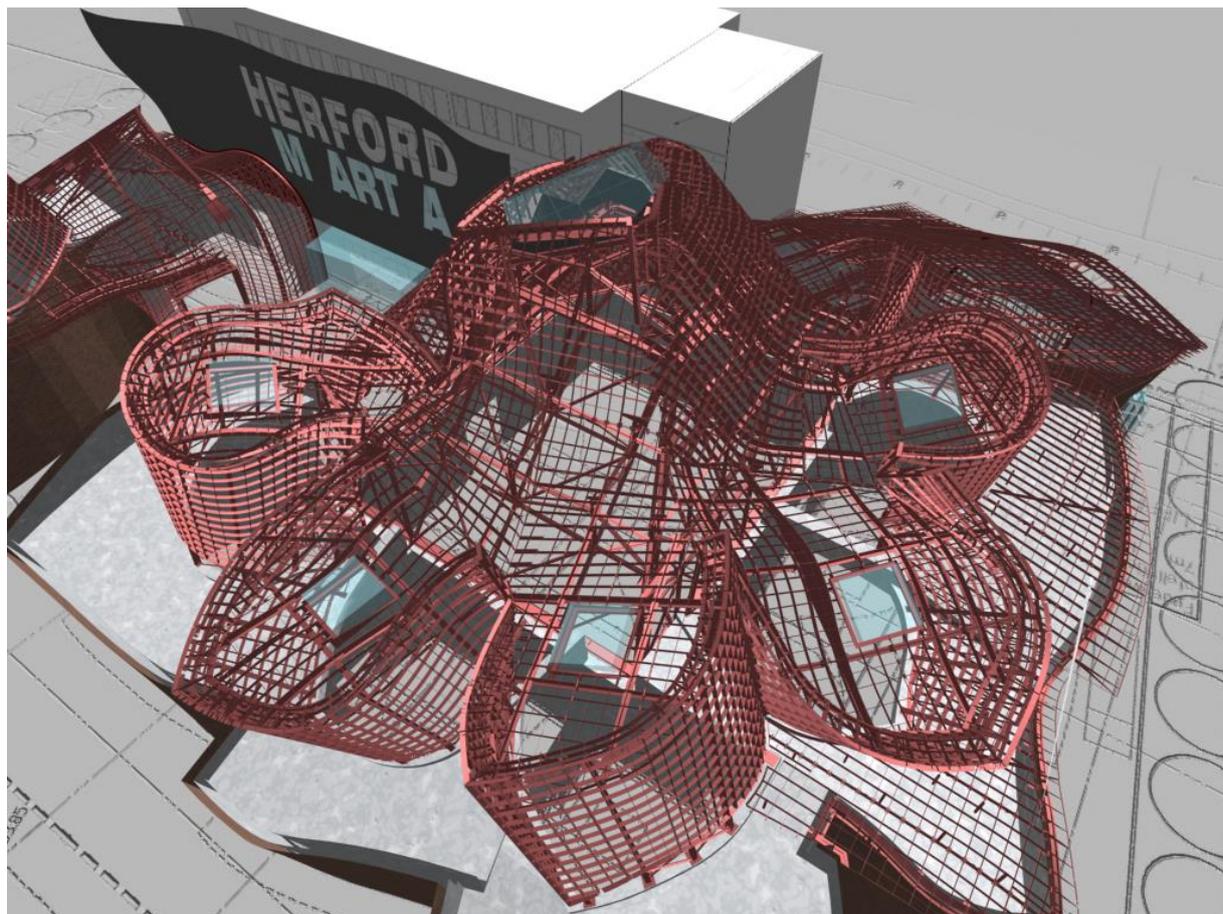


Bild 5.1-1: Stahltragwerk Museum M Art A, Herford, Architekt Frank O. Gehry  
Quelle: Ingenieur Contor Weckmann (ICW), Bochum

Weiterhin ist bei der Unternehmenskonzeption bedenkenswert, alle Kernleistungen im eigenen Hause zu halten. So ist Kompetenzvorsprung vor Wettbewerbern zu erarbeiten und auszubauen. Bevor ein neuer, wirtschaftlich interessanter Markt angegangen wird, ist vorab für diesen Markt auch im Bauwesen eine Produktlinie – etwa Logistikzentren oder Parkhäuser – zu entwickeln, im Versuchsfeld zu erproben und durch Forschung abzusichern. Erst danach können für die Kunden aus einer kompetenten Hand ganzheitlich optimierte Objekte konzipiert, gebaut und betreut werden. Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der strategischen Wahl geeigneter Marktsegmente ist das damit erreichbare Kundenspektrum. Bauherren, die einmal im Leben bauen, sind wesentlich kritischer zu sehen, als in ihrem Fach kompetente internationale Investoren, die länderübergreifend viele gleichartige Bauwerke pro Jahr erstellen lassen. Mit diesen fachkompetenten Investoren sind mit ebenso geringem Risiko wie im Inland neue EU-Märkte wie Polen oder Rumänien anzugehen. Durch wesentlich höhere Effizienz und Zuverlässigkeit sowie gut eingespielte Zusammenarbeit mit dem

Investor geht kein Auftrag an lokalen Billigwettbewerb verloren. Auch die Zahlungsfähigkeit und –Moral ist gesichert.

An diesem Punkt der Zahlungsfähigkeit von Kunden ist ein Bauunternehmen gescheitert, das hier ebenfalls als technisches Vorbild in passender Größenordnung hätte dienen können. Drei Auftraggeber wurden fast gleichzeitig zahlungsunfähig, als deren Gebäude, Herstellkosten vom Bauunternehmen vorfinanziert, weitgehend fertig gestellt waren. In dieser Situation war das Familienunternehmen nicht mehr zu retten.

Auch in Entwicklungsländern ist daher die Struktur des potentiellen Kundenkreises ein lebenswichtiges Kriterium.

## 5.2 Effiziente, sichere und innovative Produktionstechnik

Durchdachte Produktionstechnik ist eine logische Folge der Produktstrategie, welche Marktsegmente profitabel zusammenpassen und insgesamt angegangen werden - und welche bewusst nicht. Die Auslegung der Produktionstechnik eines Werkes auf Extremfälle würde zu sehr kostspieligen Maschinen geringer technischer und zeitlicher Auslastung führen, was Unternehmen in Krisenzeiten vernichten kann, zumindest aber die Wettbewerbsfähigkeit begrenzt. Gängige Produkte würden auf diesen Maschinen wegen entsprechend hoher Maschinenstundenkosten unnötig teuer hergestellt.

Bei allen Erfolgsunternehmen ist deshalb eine systematische, an Teilefamilien mit hoher Wiederholhäufigkeit ausgerichtete Vorgehensweise in der Durchführungsphase zu erkennen, die sämtliche Strukturen und Aktivitäten des jeweiligen Unternehmens prägend bestimmt:

Ähnlichkeitslösungen abgeschlossener Produktentwicklung werden vorab als CAD-Konstruktionsmethoden formuliert und programmiert. Danach stehen sie allen an den Bildschirmen arbeitenden, ausführenden CAD-Ingenieuren in Planung, Konstruktion und Detaillierung zur Verfügung. Sie sind bindend allen Konstrukteuren vorgeschrieben [4-7]. Die CAD-Methoden sind nämlich bewusst so gestaltet, dass sich systematisch Ähnlichkeitsteile und Teilefamilien ergeben, die auf den dafür konzipierten CNC-Fließfertigungslinien gefertigt werden können.

Zur Konstruktion einer Rahmenecke nach den Regeln der Produktentwicklung wird beispielsweise die Stütze und der Riegel am Bildschirm angeklickt und die vom CAD-Ingenieur gewünschte CAD-Methode „Rahmenecke“ angewählt. Eine Sekunde später erscheint die zu dieser Umgebungssituation individuell passende, vollständig durchdetaillierte Rahmenecke auf dem Bildschirm. Nach Konstruktion eines Bauabschnitts lässt der CAD-Ingenieur vom CAD-Hochleistungssystem die CNC-Steuerungsdaten für die Fertigung der Einzelteile auf CNC-Fertigungslinien an die CNC-Maschine im Werk ausgeben. Auch sämtliche technischen Unterlagen werden automatisch und widerspruchsfrei erstellt, wie Werkstattzeichnungen, Übersichten und sämtliche Listenarten. CAD-Ingenieure sind somit Generalisten, die alle Unterlagen von der Konstruktion bis zur Fertigung rechnergestützt anfertigen lassen.

Erst die Formulierung der Ähnlichkeitslösungen aus der Produktentwicklung als automatisierte CAD-Methoden löst ein Kardinalproblem großer Konstruktionsbüros, die lückenlose Durchsetzung von neuen Produktentwicklungen in der Alltagsarbeit aus-

nahmslos aller Konstruktionsingenieure. Diese innovative Kernleistung wissenschaftsbasierter CAD-Systeme im Bauwesen hat die Leiterin einer CAD-Konstruktionsabteilung mit über 100 CAD-Ingenieuren in [5-2] wissenschaftlich fundiert erörtert. Mit firmenspezifisch optimierten CAD-Methoden werden so von den CAD-Ingenieuren am Bildschirm nach den konkreten Kundenwünschen z. B. individuelle Logistikzentren oder Parkhäuser entworfen und in Form von automatisch erstellten Perspektivzeichnungen dem Kunden vorgelegt. Die selbst für Bauingenieure unmittelbare Verständlichkeit dieser Perspektiven, Fotos ebenbürtig, verhilft rasch zu Auftragsklarheit und geringer, also nicht bautypisch ausufernder Änderungshäufigkeit. Auftragsklärung bis ins Detail durch CAD-Einsatz und CAD-Konstruktionsmethoden dürfte deshalb auch in Entwicklungsländern Lücken im Spezialwissen zum Stahlbau der Auftraggeber lindern helfen.

Die CAD-Methoden detaillieren ein Bauwerk vollständig durch, also einschließlich der Fertigungsgeometrie aller Bauteile, Schraubengarnituren und Schweißnähte sowie logischer Strukturierung in Versandpositionen, Hauptpositionen, lose Teile und Anbauteile. Unmittelbar nach Klärung und Freigabe kann also im Werk die Bearbeitung aller Bauteile, z. B. der Familie aller Profilstäbe, auf hierfür entwickelten CNC-Fertigungslinien erfolgen, siehe Bild 5.2-1.

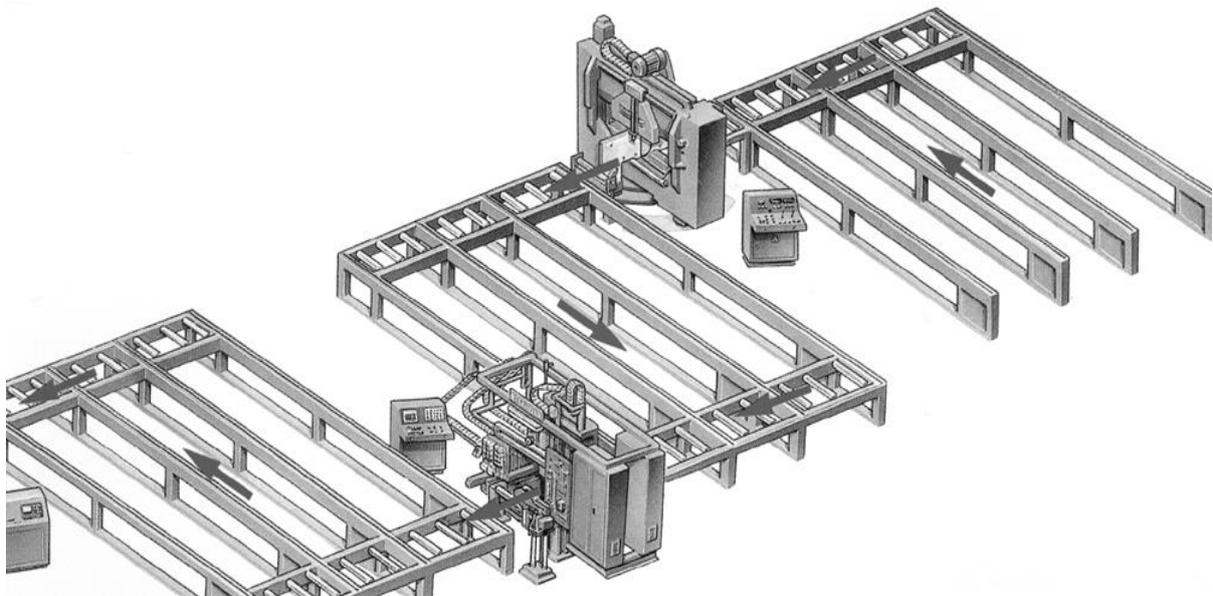


Bild 5.2-1: CNC-Fertigungslinie Sägen, Bohren und Signieren mit Flurförderung  
Quelle: Kaltenbach

In den führenden Stahlbauunternehmen wird die gesamte Teilefamilie „Profilstäbe“ nach Bild 5.2-1 zumeist auf zwei durch Querpuffer voneinander entkoppelten CNC-Maschinen

bearbeitet, einer schwenkbaren CNC-Säge für Gerad- und Schrägschnitte sowie einer Bohranlage für das Bohren, Körnen und Beschriften aller Profilebenen. Pufferung und Transport erfolgen über anschlagfreie Flurförderung, also effizient und sicher. Für die Überwachung der Maschinen genügen ein bis zwei Mitarbeiter pro Schicht. Besonders bedeutend ist die Teilefamilie „Bleche“. Blechteile werden auf einem CNC-Blechbearbeitungszentrum nach Bild 5.2-2 fertig bearbeitet und gehen ebenfalls über anschlagfreie Flurförderung (als Kleinteile ggf. auf Paletten) zu den Zusammenbaustationen.



Bild 5.2-2: CNC-Blechbearbeitungszentrum mit Flurförderung  
Quelle: Kaltenbach

Bezüglich der Betriebsorganisation, der Aus- und Weiterbildung der Führungskräfte und Mitarbeiter sowie der Fertigungs-, Transport- und Montagetechnologie sind alle untersuchten Vorbildunternehmen wesentlich innovativer als der Wettbewerb, sogar Pilotanwender neuartiger Lösungen auf hohem Automatisierungsniveau.

Derartige, für Übertragung auf Entwicklungsländer zu erwägende, innovative Bausteine der Produktionstechnik werden im Folgenden vorgestellt, auch wenn sie bisher nur die Technologieführer unter den untersuchten Vorbildunternehmen verwirklicht haben.

Zusätzlich zu den üblichen Fließfertigungslinien Bild 5.2-1 und 5.2-2 fließt bei den Technologieführern nach den Zusammenbaustationen, d. h. nach dem Fügen der Anbauteile an ihre Leiteile durch Werkstattschweißen oder-Schrauben, das gesamte Teilespektrum durch eine automatische, elektrostatische Einbrenn-Pulverbeschichtungsanlage mit Einschienenhängebahn für Großteile, Bild 5.2-3. Die Ergebnisse

sind perfekt, keine Schattenflächen nachzuspritzen. Die automatisierte Lösung ist effizienter und sicherer (Arbeitsschutz) als bei Mitbewerbern.



Bild 5.2-3: Automatische Farbbeschichtung von Großteilen (Fachwerkträger)  
Quelle: GOLDBECK

Gebrauchsfertig beschichtete Montageteile von fremden Speditionen auf die Baustelle transportieren zu lassen, führt erfahrungsgemäß zu Lackschäden, deren Behebung durch Nacharbeit auf der Baustelle aufwändig und kostspielig wäre. Daher haben Technologieführer eigene Lösungen für Lagerung und Transport entwickelt, die über die Gepflogenheiten der Branche hinausgehen.

Fertige Montageteile werden mit zwischengelegten Abstandhaltern aus Holz auf Vorverlade-Pritschen nach CAD-Verladelisten in der Reihenfolge der Montage geschachtelt. Die Vorverlade-Pritsche wird dann von einem speziellen Hallenkran in einem Hochregal-Lager eingelagert, bis „just-in-time“ ein firmeneigener LKW die Pritsche mit CAD-Lieferschein abholt. Der Ladeprozess dauert nur wenige Minuten. Der Spezialkran legt dazu lediglich die fertig vorverladene Pritsche auf den Sattelaufleger. Spannelemente der Pritsche verriegeln mit dem Sattelaufleger und nach wenigen Minuten geht die Fahrt ab zur Baustelle. Dort wird die Vorverlade-Pritsche auf beiliegende Stelzen gestellt. Der LKW senkt dazu den Aufleger über die Luftfederung

ab und fährt unter der stehenden Pritsche heraus. Kraneinsatz hierzu entfällt. Die Bauteile bleiben sauber und unbeschädigt. Der LKW fährt dann unter eine leer gewordene Pritsche und bringt sie zurück ins Werk. Dort wird er nach Ablieferung der Leerpritsche wie oben geschildert in wenigen Minuten neu beladen.

Die Dominanz der Verweilzeiten und Nebenzeiten für innerbetrieblichen Transport im Stahlbau sowie für Transport zu den Baustellen ist nur wenigen der untersuchten Unternehmen bewusst. In Entwicklungsländern herrscht das gleiche Problem verstärkt, da Arbeitsschutz bei Transportarbeiten unbeachtet bleibt. Die Vorteile der o. g. Transportmethode sind evident, werden aber erst ab einem großen Transportvolumen pro Tag wirksam. Eine Übertragung und Adaption auf Verhältnisse in Entwicklungsländern ist wegen der Synergien reizvoll, jedoch sicher einer der letzten Schritte erst nach entsprechendem Markterfolg.

Der Fertigung vorgeschaltet sind die Abteilungen Konzeption, Planung, Immobilienmanagement, Konstruktion und Produktentwicklung. Nicht nur beim Technologieführer liegen alle entsprechenden Büros nur wenige Meter vom Werk entfernt, um direkte Rückkopplung zwischen Planung und Fertigung auf kurzem Wege zu sichern. „Persönlich nach dem Rechten sehen“ geht so bei Familienunternehmen jederzeit, auch um Mitternacht. Die örtliche Nähe von Planung, Konstruktion und Fertigung ist ein Schlüsselkriterium für den Erfolg der Vorbildunternehmen. Durch diese direkte Nachbarschaft werden in der Alltagsarbeit beide Seiten, Planung und Fertigung, füreinander kompetent und somit ohne Schnittstellenprobleme effizient.

Ein attraktives Verwaltungsgebäude mit den Büros, kombiniert mit einer für Interessenten überzeugenden Ausstellung von systematisierten Ähnlichkeitslösungen, Bild 5.2-4, direkt benachbart zum Werk, ist in Entwicklungsländern ein unbekanntes Konzept. Hier könnte also ein weiteres Alleinstellungsmerkmal liegen.

Auffällig ist auch, dass alle eigenen Werke und Gebäude der Vorbildunternehmen architektonisch und funktional attraktiv und zukunftsweisend gestaltet sind. Die Einbettung in Gartenanlagen mit Teichen, Bachläufen, Brücken und Baumbestand geht demonstrativ über gängige Industriearchitektur hinaus. Interessenten äußern daher häufig den Wunsch, dass sie ebenfalls eine so rundum gelungene Gesamtlösung für ihr Bauvorhaben angeboten haben wollen. Marketing durch die herausragende Gestaltung der eigenen Gebäude und Werke ist in Entwicklungsländern bisher kein ausgeschöpftes Potential, aber angesichts ausgeprägten Prestigedenkens in Entwicklungsländern möglicherweise noch erwägenswerter als in Deutschland.



Bild 5.2-4: Ausstellungshalle im Verwaltungsgebäude, benachbart zum Werk  
Quelle: GOLDBECK

Die allgemein üblichen Fließfertigungslinien für die Teilefamilien „Profilstäbe“ und „Bleche“ werden im Folgenden im Gesamtüberblick des Bildes 5.2-5 näher betrachtet, um daraus in den folgenden Kapiteln für Entwicklungsländer angepasste Lösungen herzuleiten. Es zeigt sorgfältig auf das Wesentliche reduziert das nach eigener Einschätzung des Unternehmers effizienteste Werk des Technologieführers unter den Vorbildunternehmen.

Die deutschen Hersteller von Fließfertigungslinien mit CNC-Bearbeitungszentren für Stahlbau, z. B. Kaltenbach und Peddinghaus, verwenden spezielle Layout-Pläne, aus denen maßstäblich die Aufstellorte der einzelnen Werkzeugmaschinen und ihre Verknüpfung mit Rollgängen und Querpuffern bildlich hervorgehen. Der vorliegende Layout-Plan des vorbildlichen Werks überschreitet das Format DIN A0. Er wäre auf das DIN A4 Format dieser Arbeit nicht sinnvoll zu verkleinern. Bild 5.2-5 wurde deshalb in intensiver fachlicher Diskussion durch Symbolelemente übersichtlich strukturiert und auf das hier Wesentliche reduziert. Der Informationsgehalt ist dennoch beachtlich: Die kompakte Ausgangssituation für die Adaption an Entwicklungsländer.

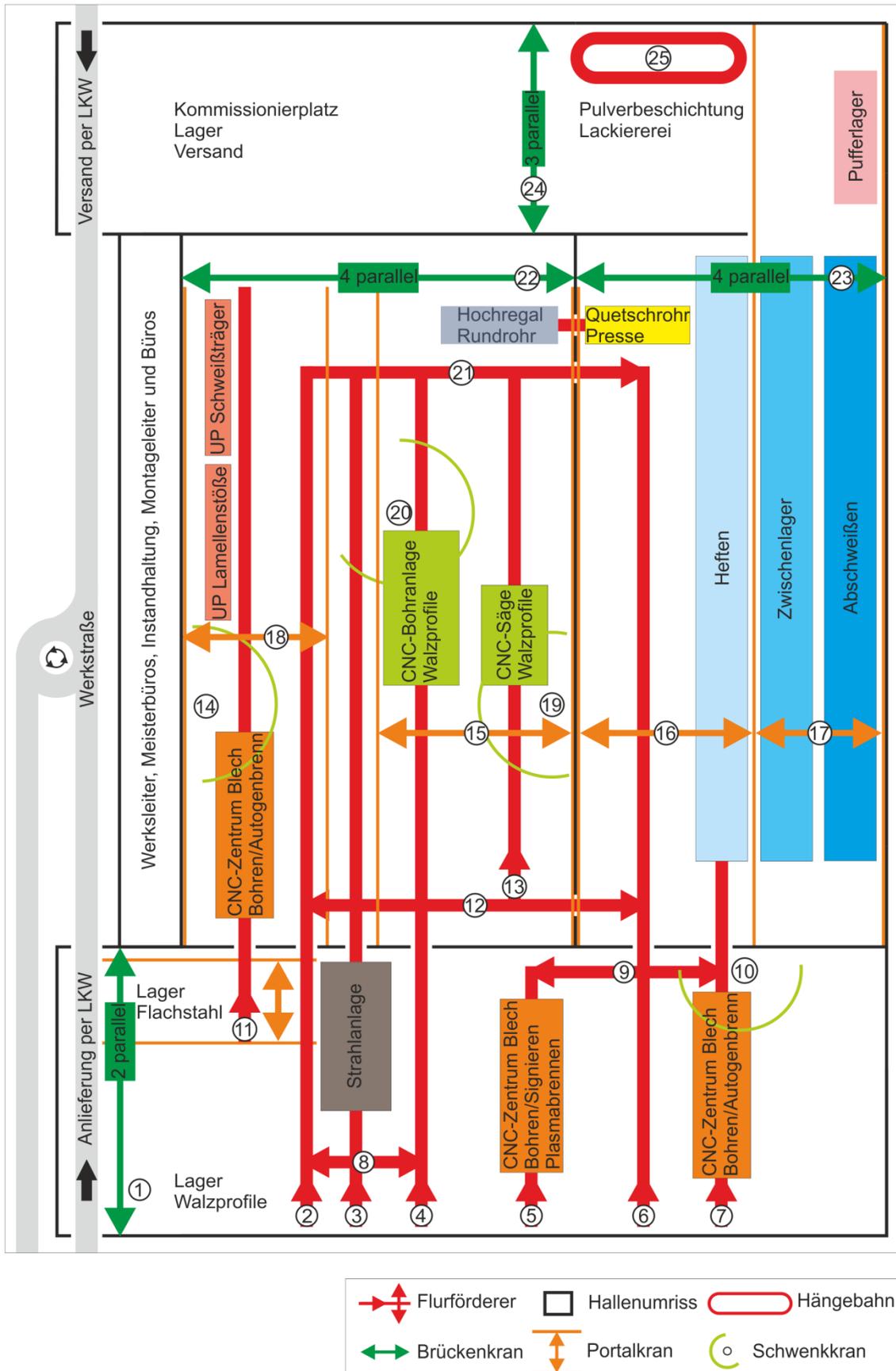


Bild 5.2-5: Werklayout der Fließfertigungslinien des Technologieführers  
 Quelle: GOLDBECK, Verfasser

Pointiert formuliert, sind Stahlbauwerke betriebsintern Transportunternehmen, die nebenbei auch Stahl bearbeiten. Transport und Handhabung mit Hallenkran und Gabelstapler bestimmen in klassischen Unternehmen maßgeblich die Durchlaufzeit der Werkstücke. Die Haupt- und Nebenzeiten der Bearbeitung sind vergleichsweise gering. Jede Arbeitsstation in Bild 5.2-5 hat daher eigene Fördermittel zusätzlich zu übergeordneten, mehrfach verfügbaren Krananlagen. Bei hohen Investitionen wird auf diese Weise das in anderen Unternehmen ständig zu beobachtende „Warten auf den Kran“ ausgeschlossen. Ohnehin erfolgt der gesamte Hauptfluss durch Flurförderung über Rollgänge und Querförderer als Puffer zwischen den einzelnen Arbeitsstationen effizient und sicher, also anschlagfrei in reservierten Zonen. Die Flurförderer werden in Bild 5.2-5 symbolisch durch rote Linien dargestellt, wobei Pfeile die Richtung des Materialflusses angeben. Reale Rollgänge und Querschlepper als anschlagfreie Flurförderer veranschaulicht Bild 5.2-6. Sie sind in allen Vorbildunternehmen üblich.

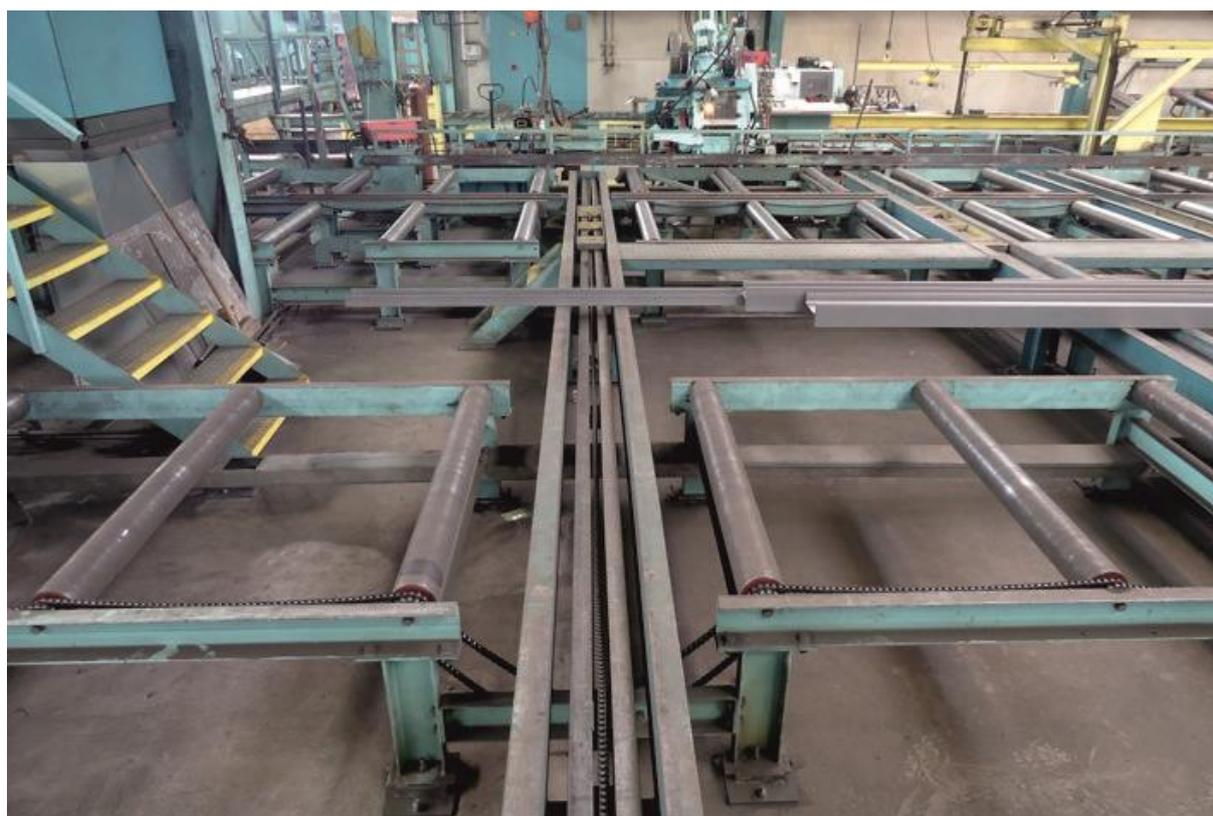


Bild 5.2-6: Anschlagfreie Flurförderung mit Rollgängen und Querpuffern  
Quelle: GOLDBECK

Grundsätzlich wären für das zu fertigende Teilespektrum zwei Haupt-Fließfertigungs-  
linien „Profilstäbe“ und „Bleche“ hinreichend, jedoch erfordert der ungewöhnlich hohe  
Durchsatz dieses konkreten Werkes wegen der begrenzten Kapazität der einzelnen

Maschinen eine parallele Vorhaltung gleichartiger Maschinen. Dadurch sind alternative Fertigungslinien möglich, die z. B. durch unterschiedlich große Arbeitsbereiche zu Vorzugslinien für bestimmte Unter-Teilespektren die Investitionskosten begrenzen. So ist im Layout-Plan Bild 5.2-5 zu erkennen, dass insgesamt aus Kapazitätsgründen drei Fließfertigungslinien jeweils mit einem CNC-Zentrum „Blechbearbeitung“ für die Teilefamilie „Bleche“ eingesetzt werden, die sich in den Arbeitsbereichen ergänzen und überlappen. Dadurch bestehen bei Störungen oder Auslastungsspitzen sinnvolle Alternativen.

Der Materialfluss beginnt im Layout-Plan mit der Anlieferung per LKW des Rohmaterials ins Eingangslager „Bleche“ bzw. „Profile“, teildautomatisch entladen über den spezialisierten Magnetkran 1. Blechmaterial wird, sofern die Lieferfirma bereits gestrahltes Material just-in-time liefert, direkt an den Einsteuerungspuffern 5, 7 und 11 der Fließfertigungslinien vom zweiten Magnetkran der Anlieferungshalle abgelegt. Durch zwei Krananlagen für das Entladen vom LKW sowie für die Entnahme aus dem Pufferlager und die Ablage auf dem Einsteuerungspuffer entfallen Kranwartezeiten. Nicht gestrahlt angeliefertes Rohmaterial wird auf den Einsteuerungspuffer 2, 3 oder 4 der Strahlanlage abgelegt und mit Flurförderung 8 geeignet geschachtelt, um die Sandstrahlanlage wirtschaftlich zu nutzen.

Alle Fertigungslinien liefern über Flurtransport, z. B. Querpuffer 21, die für den Zusammenbau fertig bearbeiteten Einzelteile an die Zusammenbaustationen auf Rollgang 6 ab. Neben vier parallelen Hallenkranen 23 in diesem Bereich verfügen die Zusammenbaustationen über lokale Hebezeuge und so genannte Wendomaten, in denen das Leitteil, ein Walz- oder Blechträger, in eine günstige Lage für das Anschweißen (Heften) der Anbauteile gewendet wird. Auch geschraubte Anbauteile werden hier komplettiert. Die Vielzahl der Handhabungsmittel sichert, dass im Zusammenbau keine Wartezeiten wegen belegter Transportmittel anfallen.

So zusammengebaute Versandteile sind prazig. Daher werden sie von einem Wandkran 17 mit schwenkbaren Gabeln ähnlich einem Gabelstapler von der jeweiligen Zusammenbaustation aufgenommen, bedienerfrei in die nachfolgende Halle gefahren und im Pufferlager vor der Beschichtungslinie abgelegt. Dort werden die Bauteile in die Hängebahn der Beschichtungs- und Trocknungslinie 25 eingehängt. Diese wurde bereits in Bild 5.2-3 vorgestellt, ebenso wie der effiziente Versand auf die Baustelle.

Weitere Krananlagen mit hoher Kranlast werden nur in Sonderfällen benötigt, z. B. wenn über Nacht Maschinen ausgetauscht werden, um sie gegen leistungsfähigere zu ersetzen. Auch bei laufender Fertigung gelegentlich notwendig werdende Änderungen der Abarbeitungsreihenfolge von Teilen können mit diesen Krananlagen erfolgen. Die Produktion läuft ungehindert mit den lokalen Fördermitteln weiter.

Die Bedienung der Fördermittel vor und hinter einer Arbeitsstation erfolgt in der Regel durch den Maschinenführer der Station während der automatische Prozess des jeweiligen CNC-Zentrums abläuft.

Nach Vorstellung des generellen Layouts werden nun die einzelnen Komponenten und Werkzeugmaschinen vorgestellt, auch Alternativen älterer Werke, die ggf. für die ersten Schritte in einem Entwicklungsland eher in Erwägung zu ziehen sind. Ähnlich wie in den Anfangsjahren des Technologieführers werden nicht alle brillanten Ideen und Lösungen sofort und gleichzeitig realisierbar und adaptierbar sein, sondern in einer abgewogenen Reihenfolge. Die begründete Abwägung erfolgt in Kapitel 6.

Eine einfache, jedoch bereits durchdachte Form der Materialanlieferung und Pufferung zeigt Bild 5.2-7 aus dem Ursprungswerk des Technologieführers.



Bild 5.2-7: LKW-Materialanlieferung, Traversen-Magnetkran, Pufferlager  
Quelle: GOLDBECK

Die Anlieferungshalle für Rohmaterial besitzt seitlich innerhalb der Halle eine geradlinige Durchgangsstraße mit schnellschließenden Eingangs- und Ausgangstoren für

die Anlieferung von Rohträgern von bis zu 18 m Länge mit LKW. Ohne Drehung der Träger um die Querachse werden diese von einem speziellen Hallenkran mit magnetischer Hubtraverse vom LKW aufgenommen und nach Einsteuerungsterminen gruppiert gestapelt. Zur Bedienung genügt eine Person außerhalb der Fallweite der Kranlast. Gefährliche Arbeit auf dem Ladegut wird so konsequent vermieden.



Bild 5.2-8: Traversen-Magnetkran belädt Rollgang der Strahlanlage  
Quelle: GOLDBECK

Mit demselben Kran, oder aber ab einer höheren Auslastung mit einem zweiten, unabhängigen Kran gleicher Spezifikation, werden zum Einsteuerungstermin die betreffenden Träger vom Pufferstapel zu ihrer Termingruppe nebeneinander auf den Eingangsrollgang der Strahlanlage geschachtelt, Bild 5.2-8 und 5.2-9, passend zur maximalen Strahlbreite.

Nach dem Passieren der Strahlanlage erfolgt der weitere Transport der gestrahlten Werkstücke mit Flurförderung ohne Kraneinsatz zur passenden Fertigungslinie. Die Durchlaufzeit mit Bearbeitung und Zusammenbau bis zur Farbspritzanlage beträgt wenige Tage. Störender Rostbefall (Flugrost) ist also in den geheizten Hallen nicht zu befürchten, so dass der kostspielige Arbeitsgang „Auftragen eines Shop-Primers“ vollständig entfällt.



Bild 5.2-9: Eingangswalzen der Strahlanlage, Nutzung der Strahlbreite  
Quelle: GOLDBECK

Mit höheren Investitionskosten verbunden, aber auch effizienter und sicherer, ist der Materialeingang im jüngsten Werk eines Technologieführers gelöst, einem „Just-in-Time“ Puffer mit Stapelkassetten nach Termingruppen, Bild 5.2-10.

Vom Händler nach CAD-Listen vorsortierte Gruppen von Trägern fertigungstechnischer und terminlicher Ähnlichkeit werden mit ihren Stapelkassetten als Einheit vom fernbedienten Kran aufgenommen und im Paket ohne Vereinzlung auf Querpuffern abgeladen, Bild 5.2-10. Ungefährdet reicht eine Person zur Bedienung.

Das entsprechende Werk mit Stapelkassetten-Lager wurde von der Produktentwicklungsgruppe speziell für die effiziente Fertigung von Gitterbindern großer Spannweite konzipiert, nachdem regelmäßig mehr als 40 Kilometer Gitterbinder pro Jahr zu fertigen waren. Obergurte, Untergurte und die vielen Diagonalen aus gleichen Profilen bilden dabei Gruppen von Ähnlichkeitsteilen. Als Pakete durchlaufen sie gemeinsam

die Fließfertigungslinie für Gitterbinder, zunächst die Strahlanlage, dann eine numerisch gesteuerte Bandsäge für Schrägschnitte der Diagonalen im Paketschnitt.



Bild 5.2-10: Stapelkassetten mit Termingruppen von Walzprofilen  
Quelle: GOLDBECK



Bild 5.2-11: Selbstkuppelnde Stapelkassetten, kein Anschlagen einzelner Träger  
Quelle: GOLDBECK

Grundsätzlich wird bei allen Vorbildunternehmen vor der Bearbeitung und dem Zusammenbau gestrahlt, nicht wie in Entwicklungsländern allgemein üblich nach dem Zusammenbau, zumeist im Freien mit starker Umweltbelastung ohne Arbeitsschutz.

Das Sandstrahlen von Rohmaterial vor der Fertigung bietet erhebliche Vorteile. Bei rohen Profilstäben und Blechen sind noch alle Flächen ungestört erreichbar. Ungestrahlte Schattenflächen wegen Verdeckung durch Anbauteile können nicht entstehen. Die Oberflächenqualität wird überall gleichmäßig gut. Das Schweißen leidet nicht unter Verschmutzungen, Voraussetzung für gesicherte Nahtgüte.

Der entsprechende Qualitäts-, Kosten- und Zeitvorteil muss daher mittelfristig auch Strategieziel der Adaption an Randbedingungen der Entwicklungsländer sein.

Präzise Passtoleranzen von Trägerlängen sind in Entwicklungsländern durchweg nicht eingehalten. Die Schnitte werden meist nur nach Bandmaß mit Kreide angezeichnet und freihand mit Butanbrennern geschnitten. Die so erzielte Längentoleranz liegt bei ein bis zwei Zentimetern, Grund für indiskutable Nacharbeit auf der Baustelle. Vorbildliche Lösung könnte hier eine neue Technologie deutscher Hersteller von Sägen werden: Die bisher im deutschen Stahlbau üblichen Kaltkreissägen wurden in den letzten Jahren wegen kurzer Hauptzeiten durch Bandsägen ersetzt, Bild 5.2-12.



Bild 5.2-12: Schwenkbare CNC-Bandsäge, auch für Paketschnitte  
Quelle: Peddinghaus

Um die auch in Entwicklungsländern mit diesen Sägen sicher und effizient erzielbare Passgenauigkeit verständlich zu machen, sei die automatisierte Funktionsweise hier nachvollziehbar erläutert:

Die Spannbacken der Säge stellen sich CNC-gesteuert ohne Einfluss des Bedieners auf die individuelle Trägerhöhe ein. Sofern das Einzelteil kopfseitig einen Schrägschnitt erhalten soll, schwenkt die Säge über einen Schrittmotor auf den erforderlichen Winkel. Ein Messrad oder ein Messschlitten meldet Kontakt zum Trägerkopf und fährt daraufhin beide seitlichen Spannbacken und den von oben kommenden Niederhalter zu. Nun läuft der Sägeprozess kopfseitig mit den zum Werkstoff und Querschnitt vom CAM-Modul passend vorgegebenen technologischen Daten automatisch ab. Bei Geradschnitten und bereits hinreichender Güte des Warmschnitts vom Walzwerk kann der Mitarbeiter an der Säge diesen kopfseitigen Sägeschnitt überspringen lassen. Nach automatischem Öffnen der Spannzangen und des Niederhalters bewegt der Rollgang das Werkstück weiter, bis die Messvorrichtung das Erreichen des Sollmaßes plus Schnittbreitenkompensation erkennt. Dann erfolgt der Endschnitt, ggf. mit Einstellung auf den geforderten Wert eines Schrägschnitts. Ist das Reststück des Rohteils lang genug für das nächste Teil gleichen Profils, wird ohne Kopfschnitt mit diesem fortgesetzt. Um Material zu sparen, können Schrägschnitt-Teile dabei durch gegengleiches Schachteln bearbeitet werden, d.h. ein einziger Schrägschnitt dient zwei Teilen.

Das fertig gesägte Werkstück wird vom ausgangsseitigen Rollgang der Flurförderung von Hubtischen auf den eingangsseitigen Querpuffer der nachfolgenden CNC-Bohr/Signieranlage übernommen. Nach Pufferung der laufenden Arbeiten der CNC-Anlage legen die Hubtische das anstehende Werkstück auf den eingangsseitigen Rollgang der Maschine. Gesteuert wird diese Zufuhr über einen Steuerknüppel durch den Mitarbeiter an der CNC-Bohr/Signieranlage, Bild 5.2-13.

Die dortige, automatische Bearbeitung läuft prinzipiell ähnlich ab wie an der CNC-Sägeanlage. In allen drei Bearbeitungsebenen für den Oberflansch, Unterflansch und Steg des Profils gehen über Schrittmotoren die Bohraggregate in Position, die zuvor den jeweils erforderlichen Bohrer bzw. Bohrdurchmesser aus dem Magazin geladen haben. So werden in allen Ebenen entsprechend den vom CAD-Programm gelieferten CNC-Daten alle Löcher mit korrektem Durchmesser gebohrt. Druckstoß-gesteuert fahren die Bohrer nach Durchbohren automatisch aus dem Bohrloch heraus. Körnerpunkte werden durch kurzes Aufsetzen der Bohrerspitze angekört. Ein

gehärtetes Druckrad, ebenfalls von Schrittmotoren bewegt, prägt an einer vom CAD/CAM-System kollisionsfrei erkannten Stelle die Identifikation des Werkstücks ein.



Bild 5.2-13: CNC-Bohr-/Körn- und Signierzentrum der Fertigungslinie „Träger“  
Quelle: Peddinghaus

Die Entwicklung derartiger Fließfertigungslinien mit CAD/CAM/CNC-Prozessketten war zumindest für die Vorreiter der Branche aufwändig und wurde deshalb durch Forschungsk Kooperationen mit Universitäten gefördert [4-7]. Der Aufbau der Infrastruktur an fachlicher Kompetenz der Mitarbeiter und an professioneller Software mit geeigneten Benutzungsoberflächen dauerte selbst in den Vorbildunternehmen mehr als ein Jahrzehnt.

Die Problematik der Infrastruktur sei zunächst am relativ einfachen Fall einer CNC-Anlage für das Bohren, Körnen und Signieren in der Fließfertigungslinie „Träger“ skizziert. CAD-Hochleistungssysteme können das rechnerinterne 3D-Modell von durchdetaillierten Trägern automatisch auswerten und einen fehlerfreien, konsistenten CNC-Datensatz als Datei unter der Identnummer des Bauteils für die automatische Bearbeitung des Trägers im Werk bereitstellen. Die Werkzeugmaschinen-Hersteller, wie Kaltenbach, Peddinghaus und Wagner, einigten sich zunächst jedoch

nicht auf eine gemeinsame Schnittstelle, ebenso wenig die CAD/CAM-Softwarehersteller. Eine Vielzahl von Pre- und Postprozessoren zur Übertragung der Information in die jeweils benötigte Darstellung war zu entwickeln, für jede mögliche Kombination. Die Ergebnisse dieser Softwareentwicklung waren deshalb spartanische, praktisch kaum ausgetestete Prozessoren. Über ein Forschungsprojekt an der Ruhr-Universität Bochum wurde deshalb eine branchenweit einheitliche CAD/CAM/CNC-Schnittstelle vorgeschlagen und mit Hilfe des Deutschen Stahlbau-Verbandes flächendeckend über Deutschland hinaus unter dem Namen „NC-DSTV Schnittstelle“ durchgesetzt. Da diese neutrale Schnittstelle für keinen Hersteller von entsprechenden Werkzeugmaschinen zu komplex sein durfte, ist die Sprache dieser Schnittstelle keineswegs elegant, aber robust. Ein Beispiel der NC-Steuerdaten eines Trägers HEB500 mit Bohrungen in Flanschen und Stegen zeigt Bild 5.2-14 links.

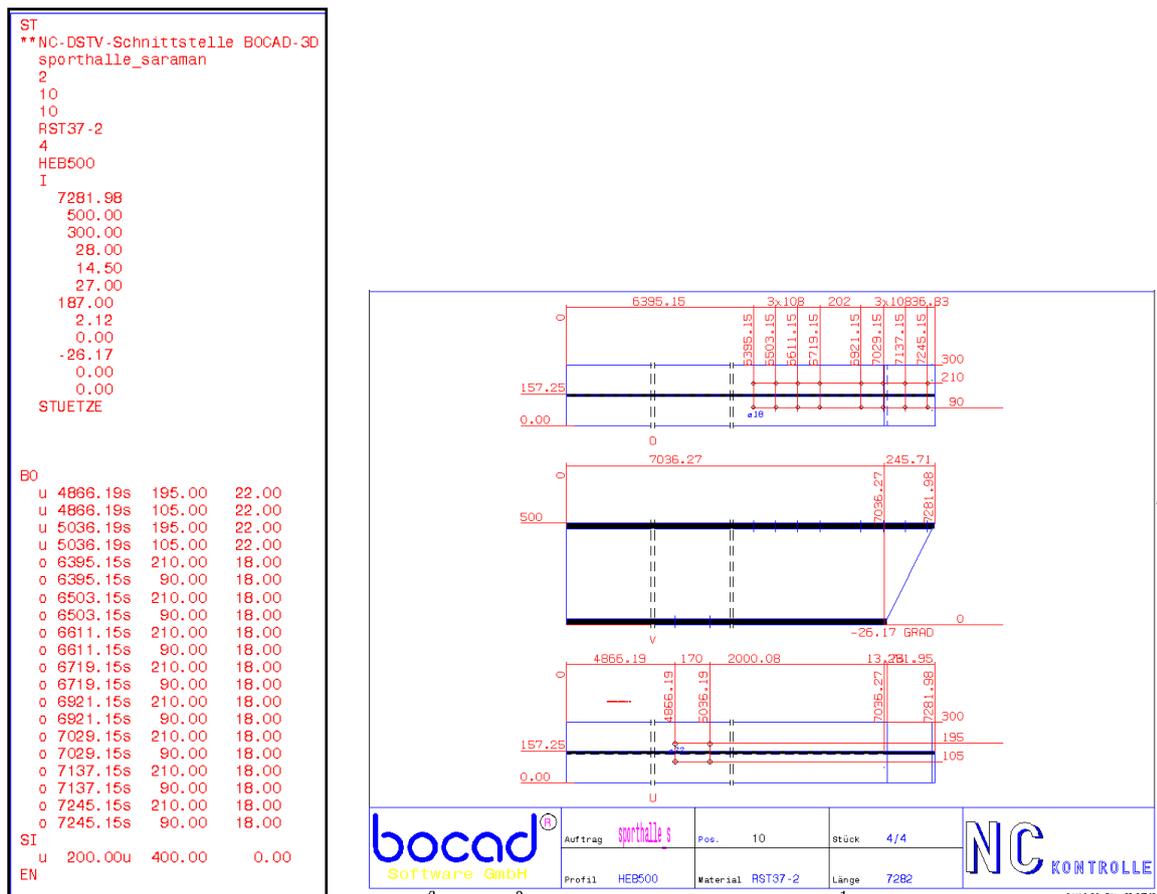


Bild 5.2-14: CNC-Steuerdaten einer Stütze HEB500 und NC-Kontrollbild  
Quelle: Verfasser, BOCAD

Da die einheitliche Schnittstelle NC-DSTV intensiv in der Branche genutzt wurde und die vorige, teure Vielfalt von speziellen Einzelprozessoren verdrängte, wurde die Entwicklung von grafischen Kontrollprogrammen für die einheitliche Schnittstelle wirt-

schaftlich lohnend. Sie stellten grafisch an Bildschirmen in der Arbeitsvorbereitung und an der Maschine die NC-Steuerungsdaten des vom CAD-System gesandten Werkstücks als Zeichnung mit automatischer Bemaßung zur Kontrolle dar, Bild 5.2-14 rechts. Diese anschauliche Art ohne menschliches Zutun ist auch für Entwicklungsländer geeignet.

Allerdings können Schweißfachingenieure über ein Zugangspasswort in dieser Darstellung Bohrungen und Körnungen verschieben, um zu erwartende Schrumpfungen zu kompensieren, z. B. bei geschweißten Trägern mit sehr langen Halskehlnähten. Eine ähnliche Möglichkeit hat der Arbeitsvorbereiter bei Sägeteilen mit Schrägschnitten, um ggf. jeweils zwei Träger gegengleich auf einem Rohteil zu schachteln.

Insbesondere Körnerpunkte für die lagegenaue Platzierung von Anbauteilen müssen vom Arbeitsvorbereiter fachkundig ergänzt werden, sofern diese Leistung nicht im CAD-System automatisch enthalten ist. Hochleistungssysteme, wie BOCAD-3D oder TEKLA, setzen Körnerpunkte automatisch nach firmenspezifisch festlegbaren Regeln.

Das entscheidende Ergebnis, insbesondere auch für Entwicklungsländer: Händisches Messen im Werk entfällt durch die von CNC-Zentren automatisch passgenau platzierten Körnerpunkte vollständig. Anbauteile werden dann im Zusammenbau anhand der Körnerpunkte stets passgenau an den Leitteilen angeschweißt. Dieses Ergebnis ist so bedeutend, dass ein entsprechendes Bild auf dem Deckblatt dieser Arbeit herausgestellt ist.

Die NC-DSTV Datei eines Werkstücks wird zum Einsteuerungstermin über das Intranet der Stahlbaufirma an die zuständige CNC-Werkzeugmaschine gesandt und dort in die Warteschlange eingeordnet. So bald die vorigen Werkstücke der Warteschlange abgearbeitet sind, erscheint die grafische Darstellung entsprechend Bild 5.2-14 auf dem Bildschirm des Mitarbeiters an der Maschine. Er prüft, ob das korrekte Rohmaterial auf dem Zufuhr-Rollgang der Maschine liegt. Trifft dies zu, drückt er die Starttaste und das Werkstück wird automatisch bearbeitet ohne Eingriffe des Bedieners.

Durch die geschilderte Automatisierung ist der Prozess systembedingt frei von menschlichen Fehlern, d. h. das reale Werkstück entspricht exakt dem Konstruktionsergebnis im CAD-System. Die im deutschen Stahlbau früher zu beklagende Fehlerquote hat die lückenlose CAD/CAM/CNC-Prozesskette in der Größenordnung des Faktors 10 verringert [3-12]. In Entwicklungsländern ohne Facharbeiter und ohne

hinreichend fachkompetente Ingenieure wird dieser Ausschluss von menschlichen Fehlern durch Automatisierung einen noch größeren Nutzeffekt haben.

Blechteile stellen höhere Anforderungen an die Arbeitsvorbereitung als Träger. Vom CAD-System definierte Blechteile gleicher Blechdicke und ähnlichem Einsteuerungstermin sind nämlich auf Rohblechen von 1,5 m Breite und hinreichender Länge mit möglichst geringem Schrotanteil zu schachteln. Die Ergebnisse von Schachtelprogrammen bedürfen oft interaktiver Nacharbeit am Bildschirm zur zusätzlichen Definition von Anstechorten für Brennschnitte, Brücken und kollisionsfreie Platzierung von Signierungen.

Sämtliche Fließfertigungslinien liefern über Flurförderung die fertig bearbeiteten Einzelteile an eine Gruppe von Zusammenbauplätzen ab. Mehrere Zusammenbauplätze sind erforderlich, um hier im Mittel den gleichen Durchsatz zu gewährleisten wie bei den automatisierten, sehr leistungsstarken Fließfertigungslinien.

Jeder Zusammenbauplatz besitzt eine Tafel, an der die vom CAD-System automatisch erstellte Werkstattzeichnung der Zusammenbauposition (auch Hauptposition genannt) mit Magneten befestigt wird. Die Werkstattzeichnung, in allen notwendigen Ansichten und Schnitten automatisch bemaßt, enthält neben einer Perspektivzeichnung des Bauteils zugleich die Stückliste der Hauptposition mit Leiteil und allen Anbauteilen. Der Schweißer hat an das Leiteil die Anbauteile jeweils zwischen vier Körnerpunkte anzuschweißen, die das CNC-Zentrum passgenau gesetzt hat. Fehleranfälliges Messen durch Schweißer oder Anreißer entfällt also komplett.

Jeder der acht parallelen Zusammenbauplätze nach Bild 5.2-15 des betrachteten Werkes ist vollständig mit eigenen Arbeits- und Transportmitteln ausgerüstet: Eine Schutzgas-Schweißanlage, Sicht- und Windschutz sowie ein lokaler Magnetkran zum Beladen und Entladen des dargestellten Wendomaten. Mit dem Wendomaten wird der mit anzuschweißenden Anbauteilen zu komplettierende Träger um seine Längsachse ohne Kraneinsatz nach Bedarf in eine günstige Schweißlage gedreht. Im Gegensatz zu starr im Boden verankerten Auflageböcken fährt jeweils ein Paar des Wendomaten auf Schienen, so dass entsprechend der aktuellen Trägerlänge die Auflagertraversen in günstige Position gefahren werden, wo sie beim Heften und Schweißen nicht stören. Durch diese flexible Anpassung an die aktuell erforderliche Länge überschreiten auch mehrere Zusammenbauplätze hintereinander geschachtelt nicht die Länge der Fertigungshalle. Das Wenden eines Trägers erfolgt über das in Bild 5.2-15 sichtbare Textilband, das dazu gespannt und dann weitergeführt wird.



Bild 5.2-15: Zusammenbaustation mit Wendomat und lokalem Magnetkran  
Quelle: GOLDBECK

Durch die vollständige Ausrüstung jedes Zusammenbauplatzes mit eigenen Transportmitteln entfallen alle Wartezeiten, die bei konkurrierender Nutzung von Mitteln erheblich sein können.

Nach dem Zusammenbau in Wendomaten sind die fertigen, nun prätzigen Bauteile zur Pulverbeschichtungsanlage in der nächsten Halle zu transportieren.

Hier stellt sich das grundsätzliche Problem, wie prätzige Teile durch die Trennwand der Hallen (Lärm- und Geruchsschutz) effizient von Halle zu Halle transportiert werden können. Dazu wird ein schienengeführter Schwenkgabelstapler an der Längswand der Halle unterhalb des Brückenkrans angeordnet, Bild 5.2-16. Nach dem Abschweißen hebt er das fertige Bauteil aus dem Wendomaten oder wird vom lokalen Halbportalkran mit Trägerpaketen beladen, die er bedienerfrei in das Pufferlager der nachfolgenden Beschichtungs- und Versandhalle fährt.

Über die bereits beschriebene Pulverbeschichtungsanlage mit Einbrennofen und die Versandhalle mit Vorversandpritschen im Hochregallager gehen die Bauteile dann entsprechend den CAD-Versandlisten per LKW auf die jeweiligen Baustellen.



Bild 5.2-16: Schienengeführter Schwenkgabelstapler mit Paket fertiger Träger  
Quelle: GOLDBECK

Letztlich wird durch die dargestellte Unternehmens- und Produktstrategie eine über-  
ragende Effizienz, Produktqualität und Wettbewerbsfähigkeit erreicht. Diese durch  
Markterfolg in Deutschland bewiesene konzeptionelle und strategische Vorgehens-  
weise wird in Kapitel 6 bezüglich der wesentlichen Einflussfaktoren und Lösungskon-  
zepte auf Übertragbarkeit in Entwicklungsländern untersucht. Anschließend wird dar-  
aus abgeleitet, mit welchen konkreten Anpassungsmaßnahmen und Ergänzungen an  
die Verhältnisse und Gegebenheiten von Entwicklungsländern anzupassen ist.

Dabei genügt nicht die Betrachtung der eingesetzten CAD-Hochleistungssysteme  
und der CNC-Fertigungslinien. Wie ungenutzt herumstehende CNC- und CAD-  
Systeme in Entwicklungsländern zeigen, ist die gesamte zugehörige Infrastruktur bis  
hin zur betrieblichen Ausbildung in diese Analyse einzubeziehen.

Das folgende Kapitel 5.3 beleuchtet deshalb die menschliche Seite einschließlich  
organisatorischer Infrastruktur, ohne die Maschinen nichts sind.

### **5.3 Personal, Ausbildung, Mitarbeiterbeteiligung**

Von den Vorbild-Bauunternehmen in Europa die dort bewährte Produktionstechnik zu übernehmen und zu adaptieren, reicht für sich allein nicht zu wirtschaftlichem Erfolg in Entwicklungsländern. Die wenigen gelungenen Nachahmungsbeispiele, die in Entwicklungsländern gefunden werden konnten, hatten auch im Personalbereich zumindest ansatzweise Gesamtlösungen aus Deutschland bzw. entwickelten Ländern übernommen und unter Wahrung der Grundsätze adaptiert.

Schlüsselproblem, auch für überdurchschnittlich fachkompetente und hochengagierte Unternehmer, ist der Aufbau eines in jeder Hinsicht leistungsfähigen Kernteams. Es gilt, leistungsstärker zu werden als der gesamte Wettbewerb, neu aufkommende Märkte zu erschließen und unabsehbare, zufallsabhängige Schläge zu überstehen. Das Unternehmensziel, überlegene Wettbewerbsfähigkeit durch Effizienz und Sicherheit auf zukunftssträchtigen Märkten, muss dabei von jedem einzelnen Mitglied des Teams auf seinem Feld mit voller Kraft mitgetragen werden, z. B. Finanzen, Einkauf, Vertrieb, Statik, Planung, Produktion und Montage. Nur dann überträgt sich der Stil des Hauses auf die gesamte Mitarbeiterschaft, die „mitzieht“ und sich begeistern lässt.

Der Forscherdrang und Elan des visionären Unternehmers ist durch den Finanzchef in finanziell grundsolide Bahnen einzubetten. Ein guter Einkäufer ist für die Wettbewerbsfähigkeit und den finanziellen Profit eines Bauunternehmens oft wichtiger als ein Statiker, der ggf. durch externe Tragwerksplaner unterstützt werden kann. Firmeneigene Tragwerksplaner der Technologieführer im Stahlbau haben zusätzlich die sehr anspruchsvolle Daueraufgabe, die Produktentwicklungsgruppe zu beraten und dann neuartigen Lösungen gegenüber Wissenschaftlern in Zulassungsgremien und gegenüber Prüfstatikern durchzusetzen. Unternehmen leben letztlich vom Verkaufserfolg ihres Vertriebs. Die Planungs- und Konstruktionsabteilung muss aus eigener Überzeugung konsequent die durchdachten Ähnlichkeitslösungen der Produktentwicklungsgruppe anwenden, so dass effiziente Teilefamilienfertigung im Werk bruchfrei läuft. Die Montage muss bis in die Produktentwicklungsgruppe rückmelden, wenn mangelnde Passgenauigkeit Nacharbeit erforderte und Sicherheitsprobleme auftreten.

Ein solches Kernteam aufzubauen, ist für Unternehmer in entwickelten Ländern ebenso wie in Entwicklungsländern möglicherweise die schwierigste Aufgabe, die auch in deutschen Vorbild-Unternehmen nur selten perfekt zu lösen war.

Was kann man hierzu von den Erfolgsunternehmern lernen, wie gehen sie vor?

Wie man an kompetentere und leistungsfähigere Mitarbeiter kommt als der gesamte Wettbewerb, diese hält und weiter fördert, ist elementarer Schlüssel für dauerhaft erfolgreiche Unternehmen. Für alle Einzelfelder des Kernteams gilt eine für Deutschland typische Management-Erfahrung: Erfolgreiche Industriemanager haben fast immer nach einem branchenrelevanten Fachstudium mit einer grundsoliden fachlichen Laufbahn begonnen. Bei bewiesenem Fachtalent erhielten sie dann Mitarbeiterführung. Wiederum bei weiterer Bewährung empfahlen sie sich für höhere Aufgaben bis hin zur Geschäftsleitung. Management zu studieren und dann – wie in Entwicklungsländern üblich - als Manager oben einzusteigen, eröffnet keine eigene fachliche Erfahrungsbasis, aufgrund derer innovative Produkt- und Verfahrensideen entstehen. Auch die soziale Erfahrungsbasis wird durch eigene Arbeit an der Basis gefördert.

Durch Praktika und handwerkliche Mitarbeit in jungen Jahren gewinnen zukünftige Betriebsinhaber die Erfahrungsgrundlage, wo wesentliches Verbesserungspotential verborgen ist. Dieses gilt es, mit innovativen Ideen weit vor der Branche dann konsequent auszuschöpfen. Sprühende Ideenfülle überzeugender Verbesserungen der Effizienz und Sicherheit birgt allerdings die Gefahr, die dazu erforderliche Finanzierung im Sturme der Begeisterung zu übersehen. Grundsolide Finanzierung ist deshalb personell zu verankern. Die Balance der komplementären Charaktere des Kernteams aus visionären Ingenieuren, Finanz- und Kaufleuten wird bisweilen eine Herausforderung sein.

Die Vorgehensweise, mit sogenannten Headhuntern nach jungen Hoffnungsträgern und bereits im gesuchten Feld praxisbewährten Leistungsträgern zu suchen, ist industrieüblich. Für ein Kernteam, das den gesamten Wettbewerb wie oben definiert überflügeln soll, reicht dieser Ansatz allein aber nicht. Die Erfolgsunternehmer haben deshalb immer ihre Kontakte zu Fachhochschulen und Universitäten gepflegt, vertieft und erweitert, insbesondere durch gemeinsame Forschungsprojekte. Daraus entwickelten sich Kontakte zu begründet bestgeeigneten jungen Nachwuchstalenten. Gerade diese lassen sich für engagierten Einsatz in einem herausragenden Unternehmen begeistern und mit Weiterbildung im Beruf stark genug machen für die außergewöhnlichen Anforderungen in führenden Leistungsteams.

Gesundes Wachstum der Vorbildunternehmen erfordert kontinuierlich zusätzliche Werker bzw. Facharbeiter, die für die höhere Effizienz der Arbeit geeignet sind, beispielsweise an den CNC-Bearbeitungszentren. Abwerbung bei Wettbewerbern kann

derartige Facharbeiter nicht beibringen, wenn das eigene Unternehmen hier weit vor dem Wettbewerb liegt. Aus diesem Grund und aus sozialem Engagement ist daher eine vorbildliche, scheinbar überproportional große Lehrwerkstatt ein seriöser Weg. Die Lehrlinge wurden hier nicht nur fachlich bestens ausgebildet, sondern zugleich von den Vorteilen effizienter, qualitativ einwandfreier Arbeit in eigener Verantwortung überzeugt, sozusagen „in der Wolle gefärbt“. Diese späteren Facharbeiter sind geprägt, Wertarbeit im Stile des Hauses aus eigenem Antrieb zu leisten.

Experten aus Entwicklungsländern, die verschiedene Werke der Vorbildunternehmen besuchten, sahen stets mit großem Erstaunen, sogar Ungläubigkeit, dass die Facharbeiter an den Maschinen die Qualitätsergebnisse ihrer Arbeit selbst kontrollierten und keine Kontrolleure im Werk zu sehen waren.

Der grundsätzliche Wandel der Arbeitsweise von Konstrukteuren der Techniker-Bildungsstufe hin zu CAD-Ingenieuren erforderte einen neuen Typ von Mitarbeitern. Nach geeigneter Ingenieurausbildung an Fachhochschulen und Gesamthochschulen finden sie innovative Arbeitsplätze mit umfassenden Aufgaben von der Projektbetreuung, Konstruktion, Detaillierung und CNC-Datenversorgung. Auch für Kunden ist es effizient, dass der zuständige CAD-Ingenieur einen vollständigen, aktuellen Überblick über den Auftrag bis hin zum Bearbeitungsstatus jedes Bauteils hat. Die zentrale CAD-Projektdatei auf einem Unternehmensserver, die alle Aktionen der beteiligten Ingenieure sowie sonstiger kaufmännischer und planerischer Fachleute speichert und verknüpft, gibt mit einem automatischen Rückmeldesystem auch aus der Werkstatt zuverlässig Auskunft.

Im eigenen Beruf an der vordersten Front der technischen Entwicklung in einem Vorbildunternehmen zu arbeiten, ist offenbar für Ingenieure sehr befriedigend. Es zieht die besten Nachwuchskräfte an. Stimmlose Mitarbeiteranteile am Unternehmen mit vorrangiger Gewinnbeteiligung noch vor den Inhabern fördern dieses gemeinsame, der Kundenzufriedenheit dienende Arbeiten. Die Mitarbeiter-Fluktuation in den Vorbild-Unternehmen bleibt aus diesem Grunde gering.

Bei wachsendem Unternehmen wird es zunehmend schwieriger, die besondere, das Unternehmen ausmachende Arbeitsmentalität zu wahren und weiter zu entwickeln. Die Strahlkraft und gut begründete Begeisterung können Erfolgsunternehmer dennoch auch an Tausend Mitarbeiter weitergeben. Das persönliche Vorwort in einer exzellent gemachten Hauszeitschrift und tägliche Gänge durch Abteilungen und

Werke eines lernbegierigen Unternehmers mit Vieraugengesprächen von Fachmann zu Fachmann sind Basis dieser Breitenwirkung.

Ein besonders schwerwiegendes Personalproblem, auch in Entwicklungsländern rechtzeitig zu bedenken, ist die Unternehmensnachfolge. Unternehmer der zweiten Generation ruinieren statistisch auffallend häufig das elterliche Unternehmen, da ihnen das Erreichte selbstverständlich erscheint und eigenes Erarbeiten eher überflüssig. Der Weg zu Führungspositionen im elterlichen Unternehmen sollte den Erben keineswegs direkt gewährt, sondern wie oben geschildert über ein passendes Fachstudium an deutschen Universitäten bei den im Fach führenden, anspruchsvollen Professoren vorbereitet werden. Dann folgen die Berufsjahre der Bewährung in fremden Unternehmen relevanter Branchen und schließlich – bei vorheriger Bewährung - der Einstieg im elterlichen Unternehmen.

Die in Europa bewährte Vorgehensweise zur Bildung des geeigneten Kernteams auf Entwicklungsländer zu übertragen, könnte zur Überwindung der sehr hohen Hürden der dortigen Wirtschaftssysteme notwendig sein.

Ob und wie diese grundsätzlichen Erkenntnisse und Überlegungen auf Entwicklungsländer übertragen werden könnten, wird in Kapitel 6.4 allgemein erörtert und an konkreten Fallbeispielen anschaulich vorstellbar gemacht.

## 6 **Adaptierte Gesamtkonzeption für Entwicklungsländer**

Mit einer umfassenden Unternehmenskonzeption entsprechend den Vorbildunternehmen ist zu hoffen, in Entwicklungsländern erfolgreicher optimale Gesamtlösungen für Kunden erarbeiten und anbieten können, als lokale Sublieferanten. Diese versuchen erfahrungsgemäß jeweils ihre eigenen Interessen zu Lasten der Anderen durchzusetzen. Selbstverständlich ist dieser umfassende Ansatz in Entwicklungsländern nicht von Anbeginn möglich.

Am Beispiel der Vorbildunternehmen war in Kapitel 5 die entscheidende Rolle des Unternehmer-Ingenieurs herausgestellt worden. Für die Durchführung dieser Dissertation war es daher von Vorteil, dass der berufliche Werdegang des Verfassers - von der Dimension abgesehen – auch von der Pike auf begann, siehe Bild 6-1.



Bild 6-1: Praktische Berufstätigkeit im Stahlbau zur Finanzierung des Studiums  
Quelle: Verfasser

Nach Verlassen seines Heimatlandes finanzierte der Verfasser sein Bauingenieurstudium in Wuppertal durch Arbeit als Stahlbauschlosser im eigenen Ein-Mann Unternehmen. Das Vertrautsein mit der Arbeitskultur beider Länder war eine günstige Basis, Ideen zu dieser Arbeit zu entwickeln. Entsprechend wird in den folgenden Kapiteln der geeignete Technologietransfer hergeleitet und begründet. Adaptierte Technologiediffusion ist die Grundlage steigenden Wohlstands der beteiligten Länder, siehe Kapitel 1.

## **6.1 Adaptierte Unternehmensstrategie**

Wie in Kapitel 6.4 noch näher erläutert, gründete ein „Dreigestirn“ im Jahr 2007 das Start-Up Unternehmen zur experimentellen Verifizierung der im gleichen Kapitel vorgestellten Arbeiten, auch dieser Arbeit. Erdbebensicheres Bauen mit Stahltragwerken, effizient und sicher, war das Unternehmensziel und bestimmte deshalb die Unternehmensstrategie.

Schon hier sind folgenreiche Besonderheiten von Entwicklungsländern zu erkennen, die als Konsequenz der lokal zulässigen Firmenanteile entstehen. Durch Einlage in Form von Lizenzen des CAD-Hochleistungssystems BOCAD-3D, durch Leistung fachlicher Schulungen und unentgeltliche Beratung erhielt die deutsche Seite 20 % der Unternehmensanteile, maximal zulässig sind 49%. Der führende unternehmerische Kopf vor Ort, durfte nach iranischem Recht als Professor lediglich 5 % der Anteile besitzen. Dem Investor blieb so die Anteilmehrheit ohne Sperrminorität. Er stellte dafür das wertvolle Baugrundstück für die noch zu bauenden Produktionshallen und Büros in einem Industriepark nahe Isfahan, Iran, bereit und engagierte sich in der Auftragsakquisition.

Der Bau der eigenen Produktionshallen war zwangsläufig der erste Bauauftrag, im Freien auf dem Grundstück ausgeführt von Subunternehmern, Bild 6.1-1. Der Investor stellte dazu einen Werksleiter ein, der zuvor die gleiche Position in einem in Insolvenz gegangenen Staatsunternehmens inne hatte. Der Schwiegervater des Investors, ein Pensionierter, erhielt leitende Funktion mit Weisungsbefugnis. Diese „Adaption an Entwicklungsland-Verhältnisse“ im Personalwesen weicht also bezüglich Fachkompetenz und Nepotismus signifikant von deutschen Vorbildunternehmen ab. Mit dem Inhaber des technologisch führenden Vorbildunternehmens fand damals ein Strategiegelgespräch des „Dreigestirns“ statt, um eine Beteiligungsform zu durchdenken. Für sinnvoll wurde allseits angesehen, das Unternehmen im Entwicklungsland im Laufe der kommenden Jahre in angepasster Form zu ähnlicher Effizienz und Wertarbeit zu führen, wie beim Technologieführer. Auch die wissenschaftliche Begleitforschung des Verfassers dient diesem Ziel. Falls es hinreichend erreicht würde, wurde eine Franchising-Lösung in Aussicht gestellt.

Franchising ist für das gebende Vorbildunternehmen eine zusätzliche Einnahme ohne größeren zusätzlichen Aufwand und für das nehmende Unternehmen die Chance für eine vergleichbare Marktposition im Entwicklungsland, die aus eigener Kraft nicht erreichbar wäre.



Bild 6.1-1: Fertigungshallen im Bau, Industriepark Isfahan  
Quelle: Verfasser

Als Starthilfe stellte der Technologieführer sämtliche Pläne seines modernsten Stahlbauwerkes in Treuen zur Verfügung, damit in Isfahan das gleiche Werk als Kopie wiederholt werden konnte. Nach Originalplänen wurde so das Werk nachgebaut, beginnend mit dem eleganten, filigranen Stahltragwerk und den Krananlagen, siehe Bild 6.1-1. Der Bau dieser vorbildlichen Stahlhallen im Entwicklungsland wurde aus laufenden Erträgen erwirtschaftet und daher nur schrittweise fertig gestellt. Wie Bild 6.1-1 zeigt, fehlen noch Dach- und Wandverkleidungen. In einem klimatisch günstigen Land schien dies kein Hindernis für die Produktionsaufnahme zu sein. Vor Vollendung der Fertigungshallen wurden auf dieser Baustelle erste Bauaufträge für zahlende Kunden ausgeführt.

In Adaption der Unternehmensstrategie an die lokale Situation waren die eingesetzten Maschinen und Arbeitsmethoden auf niedrigem Niveau, wie in den Bildern 6.1-1 bis 6.1-3 ersichtlich. Effizienz durch CAD-Konstruktion und Ausbildung durch „Training on the job“, zeitweilig verstärkt durch deutsche Fachleute vor Ort, ermöglichten dennoch schon früh auskömmliche Erträge trotz finanzieller Belastung durch den Bau der eigenen Werkshallen.

Die adaptierte Unternehmensstrategie bewährte sich also zunächst in geradezu erstaunlich guter Weise. Vertreter der Deutschen Botschaft und des DAAD besichtigten das nach deutschen Plänen entstehende Werk, das als konkretes Ergebnis der Förderung von Wuppertaler DAAD-Sommerschulen, bilateralem akademischem Austausch und Doktorandenstipendien lebhaft begrüßt wurde. Derartig weiterführende, nachhaltige Folgeprojekte aus eigener Kraft seien in Entwicklungsländern selten.

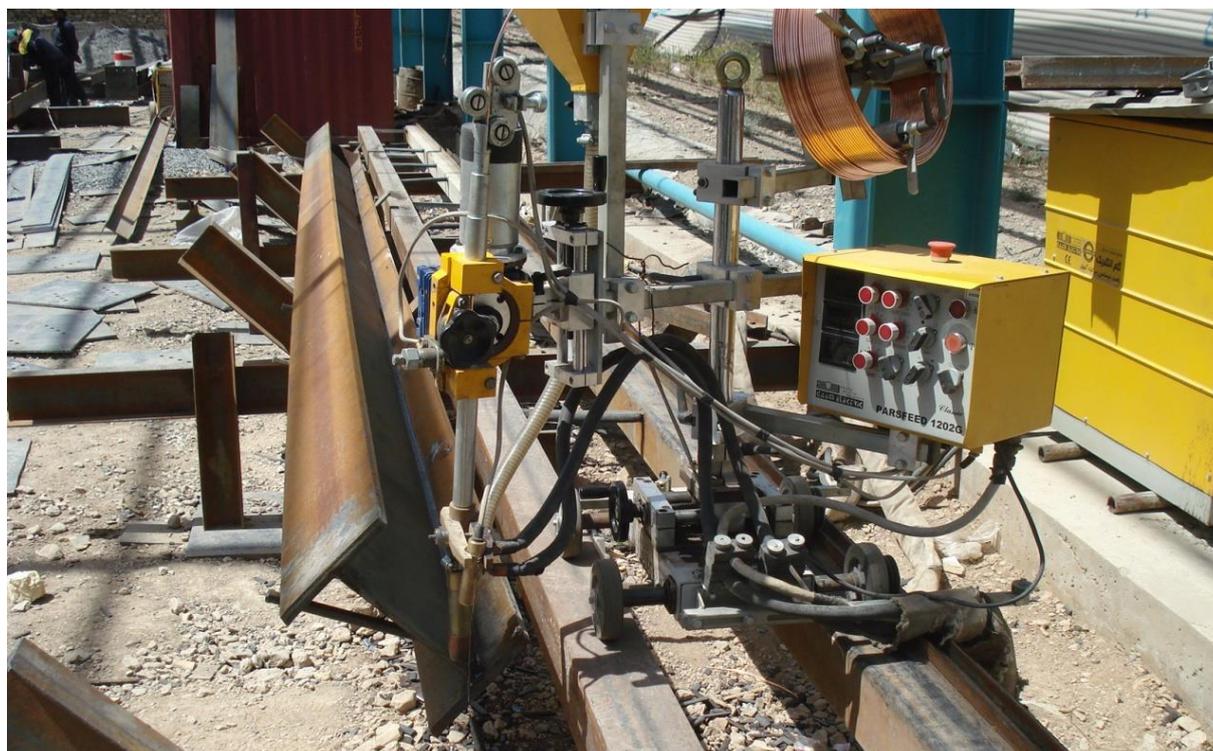


Bild 6.1-2:     Vorrichtung zum Unterpulverschweißen  
Quelle:         Verfasser

Die „Anpassung an Entwicklungsland-Verhältnisse“ der Produktionstechnik bestand zunächst darin, keine Werkzeugmaschinen einzusetzen, sondern handwerklich mit Schneidbrennern und Magnetbohrmaschinen zu arbeiten. Einzige Ausnahme war eine Unterpulver-Schweißanlage Bild 6.1-2. Diese zweckmäßige Vorrichtung nach Anleitung des Verfassers half, aus Blechen zusammengesetzte H-Träger mit gemieteten Automaten zu schweißen. Dass insgesamt mit maschineller „Nichtausrüstung“ bereits ertragreich gearbeitet werden konnte, war dem eklatant niedrigen, primitiven Fertigungsniveau des lokalen Wettbewerbs und der damaligen Marktlage zu verdanken. Diese Situation dürfte allgemein für Entwicklungsländer gelten.

Da Walzprofile in Entwicklungsländern lange, unsichere Lieferzeiten aufweisen oder nicht verfügbar sind, wurde auf kurzfristig verfügbares Blechmaterial zurückgegriffen.

Blechträger sind in Entwicklungsländern generell trotz des erforderlichen Schweißprozesses preisgünstiger als Walzträger, da die Löhne extrem niedrig sind.

Dieser Mangel an Lieferfähigkeit von preisgünstigen Walzprofilen in Entwicklungsländern ließ eine unternehmensstrategisch interessante Idee aufkeimen. Wäre es möglich, aus der Not eine Tugend zu machen und die gesamte Produktionstechnik des Werks ausschließlich auf die Fertigung von Blechschweißkonstruktionen auszurichten?

Dies wäre ein signifikanter Adaptionenunterschied zu den deutschen Vorbildunternehmen, die sowohl auf Walzprofile als auch auf Bleche ausgelegt sein müssen. Dadurch haben sie einen mindestens doppelt so umfangreichen und teuren Maschinenpark an High-Tech-Anlagen vorzuhalten. Falls in Entwicklungsländern die Eingrenzung auf Blechschweißkonstruktionen möglich wäre, würden sich die erforderlichen Investitionen in Maschinen, Ausbildung und Infrastruktur grob halbieren.

Insgesamt führte der erste adaptierte Schritt der in dieser Arbeit konzipierten Unternehmensstrategie und Produktionstechnik zu folgenden Ergebnissen:

Große, vorbildliche Werkshallen (Bild 6.1-1) in strategisch bester Lage nahe der lokalen Stahlwerke, besser ausgebildete Schweißer (Bild 6.4-1), eine innovative Fertigungslinie für die Quetschrohr-Druckstäbe der o. g. Halle, Schweißautomaten (Bild 6.1-2), automatische Kopfbolzen-Schweißanlagen für Verbundbau als Repräsentant einer Firma für Kopfbolzentechnik, erste CAD-Ingenieure in Statik und Konstruktion sowie profitable Aufträge zur Finanzierung der selbstgebauten Werkshallen aus laufendem Erwerb.

Dann jedoch ergaben sich Entwicklungsland-Probleme mit schwerwiegenden Folgen für die Unternehmensstrategie. Die zuvor genannten Personalentscheidungen des lokalen Investors, ohne Rücksicht auf Fachkompetenz nepotistisch getroffen, führten dazu, dass die Situation eskalierte. Die besten in Wuppertal ausgebildeten Ingenieure verließen das Werk und wählten andernorts berufliche Alternativen. Dies war das ernüchternde Ende der ersten adaptierten Unternehmenskonzeption.

Die verbliebenen beiden Unternehmer gingen das Wagnis eines Neuanfangs mit geändertem Konzept ohne Investor ein.

Einer der bisherigen Bauherren besaß eine leer stehende Halle im gleichen Industriepark und ermöglichte gegen eine faire Miete auf Basis der tatsächlich produzier-

ten Tonnage eine Fortsetzung der laufenden Aufträge. Alle Subunternehmer nahmen das Angebot an, in der angemieteten Halle die Arbeit fortzuführen. Die Zufriedenheit der bisherigen Hauptkunden mit den schneller und qualitativ besser als üblich gelieferten Bauten führte zu weiteren Aufträgen. Der frühere Investor allerdings fiel als hervorragend vernetzter Akquisiteur nun aus. Als Gegenwert zu den inzwischen gebauten Hallen, Bild 6.1-1, gab der Investor dann seine Firmenanteile an Verwandte des verbliebenen iranischen Unternehmers und schied aus.

Ohne Investor konnte die Entwicklung des Unternehmens nicht mehr so rasch fortschreiten wie zuvor, da den Banken Sicherheiten fehlten. Der Niedergang der wirtschaftlichen Gesamtsituation durch das Iran-Embargo führte zum Ausfall von Hauptkunden. Die staatlichen Organisationen zum Bau von Schulen und Krankenhäusern hatten Budgetkürzungen hinzunehmen. Mit wenigen Ausnahmen waren Neubauten nicht mehr finanzierbar. Dennoch gelang es, neue Kunden durch kostengünstigere, sichere Alternativ-Vorschläge mit deutscher Konstruktionsweise zu gewinnen, wie in Kapitel 4 bereits erörtert. Trotz der prekären Situation des Neuanfangs und der Randbedingungen blieb das Unternehmen mit dieser Konzeption in angemieteter Halle lebensfähig, Bild 6.1-3.



Bild 6.1-3: Fertigung auf Primitivniveau in angemieteter Werkshalle  
Quelle: Verfasser

Die für Entwicklungsländer typisch hohe Inflationsrate von damals über 22 % jährlich machte das Ansparen von Eigenkapital unmöglich. Ohne Eigenkapital und ohne

Grundbesitz als Sicherheit geben lokale Banken keine Kredite für die Beschaffung eines Maschinenparks, der technologisch an die Spitze des Landes hätte führen sollen. Importierte Maschinen werden zudem nicht als Sicherheit akzeptiert. Sie besitzen in Entwicklungsländern keinen realen Wert, da sie üblicherweise mangels geeigneter personeller Infrastruktur ungenutzt herumstehen.

Die Entwicklung eines Layout-Plans im Rahmen dieser Arbeit für die maschinelle Ausrüstung der angemieteten Halle erübrigte sich. Ohne Kapitaleinsatz wurde auf einfachstem Primitivniveau nicht besser als branchenüblich gefertigt. Es reichte knapp, das Unternehmen weiter am Leben zu halten.

Daher wurde es notwendig, einen dritten, konzeptionell adaptierten Ansatz der Unternehmensstrategie zu entwickeln.

Trotz naheliegender Bedenken zur weiteren wirtschaftlichen Entwicklung des Landes wurde dieser dritte Schritt unternehmerisch gewagt. Das Prinzip: Grundstücke in guter Lage sind die einzige Investition, die sich in Entwicklungsländern mit typisch hoher Inflation, rechnet. Dazu ergab sich nach mehreren Fehlversuchen eine Gelegenheit. In einem neu geschaffenen Industriepark, mehr als eine Fahrstunde entfernt von Isfahan, wurden Pilotinvestoren mit Vorzeigeprojekten gesucht. Unter der Bedingung des Produktionsbeginns innerhalb eines Jahres waren günstige Konditionen für Grundstücke erhältlich. Allgemein wird in Entwicklungsländern staatlich so vorgegangen. Der iranische Unternehmer setzte daraufhin sein gesamtes Privatvermögen für diesen Grundstückskauf ein und nahm Kredite auf. Das gesamte Privatvermögen einzusetzen, ist zweifellos ein unternehmerischer Kapitalfehler.

Der deutsche Unternehmer investierte später ergänzend in die notwendige Ausrüstung der Hallen mit innovativen deutschen Maschinen und Fördereinrichtungen, jedoch nur einen vertretbaren Teil seines Privatvermögens. Der Firmenanteil des deutschen Unternehmers erhöhte sich dadurch auf 49 %, der höchste zulässige Wert für ausländische Investoren. Einfluss auf unternehmensstrategische Entscheidungen war durch diesen Firmenanteil erstmals gegeben.

Infolge der sich rapide verschlechternden Wirtschaftslage war ab Ende 2011 der gesamte Auftragsbestand abgearbeitet, neue Aufträge standen nicht an. Diese Lücke wurde für die Herstellung und Montage der firmeneigenen Hallen genutzt.

Bei Grundbesitz muss ein besonders kritischer Punkt adaptierter Unternehmensstrategie erörtert werden, der vorrangige Einsatz von Subunternehmern anstelle eigener

Mitarbeiter. Kann nämlich ein Unternehmen die Löhne der eigenen Mitarbeiter nicht zahlen, wird das Firmengrundstück gepfändet. Dieses Risiko besteht bei Einsatz von Subunternehmern nicht.

Die „Angepasste Unternehmensstrategie“, dritte Version, ist in wichtigen Aspekten leider das Gegenteil der Vorbildunternehmen. Eindringliche Warnungen und Ratschläge des Verfassers aufgrund der Erkenntnisse dieser Arbeit wurden ignoriert. Auch der deutsche Unternehmer konnte sich nicht durchsetzen bzw. wurde nicht informiert. Dies war dann einer der Gründe, seinen Unternehmensanteil auf 49 % zu erhöhen und notariell bestätigen zu lassen, um zukünftig unternehmerischen Fehlentscheidungen zu wehren. Der Grundstückskauf war günstig, der Effekt nicht. Pro Arbeitstag insgesamt mehr als zwei Stunden Fahrzeit vom Wohnort zum Werk und zurück bleiben nicht ohne Folgen. Alle Subunternehmer suchten sich neue Partner, die gut ausgebildeten Schweißer ebenfalls. Der einzig verbliebene loyale Werker wurde Werkleiter ohne Mitarbeiter. Nur zwei Führungskräfte besuchen gelegentlich das Werk, etwa zweimal pro Woche. Für den experimentellen Nachweis im Rahmen dieser Arbeit sind diese Folgen der nicht abgestimmten Unternehmensstrategie erschwerend.

Ansätze, das Ziel des Themas dennoch zu erreichen, werden in den folgenden Kapiteln erarbeitet.

## 6.2 Produktstrategie, Produktentwicklung

Produktstrategie und Produktentwicklung müssen im konkreten Fall der im vorigen Kapitel erörterten Unternehmensstrategie, dritte Version, einschränkend angepasst werden. Sie bleiben daher ganz wesentlich hinter den in Kapitel 5.1 vorgestellten Vorbildern aus Europa.

Allgemeingültig für alle Entwicklungsländer bleiben aber folgende Ziele und Merkmale einer Produktstrategie und Produktentwicklung:

- Ein die Kunden begeisterndes Marketing
- Herausragend produktkompetentes Engineering
- Seriöses Geschäftsgebaren
- Fachberatung zu günstigeren Alternativlösungen
- Ausrichtung auf Fließfertigung hoher Effizienz und Sicherheit im Werk
- Schadenfreier Transport der Bauteile zur Baustelle
- Montage mit Passtoleranzen ohne Nachbesserungsbedarf
- Akquisition von Dauer-Auftraggebern

In den Vorbildunternehmen hat sich bewährt, im Wesentlichen mit Dauer-Auftraggebern in strategischer Partnerschaft zusammenzuarbeiten, für die sich maßgeschneiderte Produktionstechnik und Produktentwicklung wegen der Wiederholhäufigkeit entsprechender Ähnlichkeitslösungen mit Teilefamilien lohnt.

Auch im betrachteten Werk wurden deshalb frühe Kontakte zu einem der führenden Architekturbüros für Krankenhausbauten und Universitätsbauten geknüpft. Besuche in Deutschland von Krankenhäusern und einschlägigen Messen sowie Fortbildungen an der BUW vermittelten die Vorteile effizienten und sicheren Bauens mit Kompetenz in der Produktionstechnik. Krankenhäuser, Schulen und Universitätsbauten zeichneten sich dazu durch Ähnlichkeiten der Stahltragwerke aus. Ein erstes Produktspektrum mit einem Dauerauftraggeber in Partnerschaft war gefunden.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Produktlinie für erdbebentüchtige, entfeinerte Stahltragwerke von Krankenhäusern, Schulen, Verwaltungsbauten und leichten Industriehallen konzipiert, die der landesüblichen Bauweise gegenüber wesentlich effizienter und sicherer ist.

Allein, Bild 6.2-1 zeigt, dass in Entwicklungsländern Statikbüros, Prüfer und Bauherren zunächst strikt das Gewohnte verlangten. Die Durchsetzung entfeinerter, effizien-

ter, sicherer Bauweise gestaltet sich zäh und schwierig. Durch gut besuchte Vorträge vor der lokalen Ingenieurkammer bemüht sich der deutsche Unternehmer deshalb, Schritt für Schritt den Boden für drastisch effizientere und sichere konstruktive Lösungen zu bereiten.



Bild 6.2-1: Kundenforderung: Column-Tree Tragstruktur eines Krankenhauses  
Quelle: Verfasser

Dem aufmerksamen Betrachter des Bildes 6.2-1 wird nicht entgehen, dass keineswegs alle lokalen Gepflogenheiten des „Geldverbrennens“ durch effiziente und sichere Lösungen im ersten Schritt ersetzt werden durften. Immerhin wurden Eckausrundungen an allen 28 Steifen pro Anschluss zugestanden, so dass dreiachsiger Zugeigenspannungszustand mit Sprödbruchgefahr im Kreuzungspunkt der Schweißnähte vermieden werden konnte. Ansonsten beharrten die Statikbüros und städtischen Prüfer auf den gewohnten, als Normbeispiele Lösungen, auch wenn diese etwa fünffach teurer sind als in Europa bewährte Anschlüsse.

Mit derart heftigem Widerstand der Kunden, Partner und Prüfer gegen Innovation war im Iran-erfahrenen Forschungsteam der BUW nicht gerechnet worden, eher mit Interesse an damit verbundener beruflicher Fortbildung der Bauingenieure vor Ort. Der

eklatante Mangel an Fachkompetenz in Entwicklungsländern, auch der Ingenieure, ist Ursache dieses Verhaltens.

Fertiger führen aus, was die Ingenieure des Planungs- und Statikbüros ohne Kosten denken vorschreiben.

Es erfordert daher mehrere Jahre zäher Überzeugungsarbeit, zumindest leistungsfähigere Planungsbüros mit auslandserfahrenen Inhabern für effiziente und sichere Lösungen zu gewinnen. Diese könnten dann zunehmend Signalwirkung auf andere Büros gewinnen, jedoch nicht flächendeckend.

Diesen Ansatz verfolgend, zeigt Bild 6.2-2 den bis 2010 erreichten und durchgesetzten Stand der Produktlinie für Geschossbauten. Er bietet zwar immer noch erhebliches Verbesserungspotential. Aber immerhin werden so pro Bauwerk über tausend Steifen eingespart und systematisch Toleranz-Summierungen vermieden, die zwangsläufig zu umfangreichem „On-site Reworks“ führen würden.

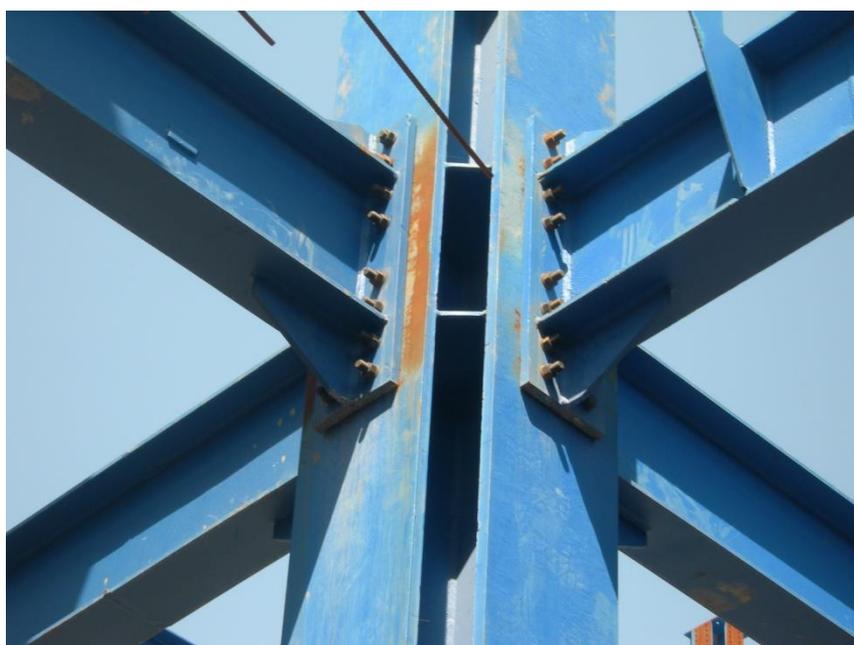


Bild 6.2-2: Produktlinie „Tragstruktur Geschossbau“, Entwicklungsstand 2010  
Quelle: Verfasser

Der komplette Fortfall der aufwändig beidseits angeschlossenen Stummel (Bild 6.2-1) des in Entwicklungsländern üblichen „Column-Tree“ Prinzips durch Direktanschluss von Unterzügen an die Kreuzstütze (Bild 6.2-2) ist für diese Länder neu, innovativ und bedeutend. Bei verbesserter Sicherheit senkt diese Innovation die Baukosten aller Geschossbauten des Landes erheblich, sofern angewendet.

Mit dem in Bild 6.2-2 belegten Krankenhausbau besteht nun ein positiver Präzedenzfall, auf den sich an Einsparung überflüssiger Kosten interessierte Bauherren berufen

können. Das Eis ist gebrochen, aber wie schon das Schraubenbild und letzte Steifen in Bild 6.2-2 zeigen, ist in den kommenden Jahren im Vergleich zu DSTV-Stirnplattenanschlüssen noch viel Raum für weitere Verbesserung der Effizienz und Sicherheit für dieses Produktspektrum. Bereits hier sei auf die fertigungstechnischen Konsequenzen der effizienteren Anschlussart hingewiesen: Die Trägerlängen sind eng toleriert zu fertigen. Beobachtete Längenfehler in der Größenordnung von bis zu 8 cm sind nicht mehr durch „Pfusch am Bau“ (On-Site Reworks) ausgleichbar.

Mehrgeschossige Krankenhäuser, Verwaltungs- und Universitätsbauten sowie die später behandelten Schulen machen Verbundbauweise höchst sinnvoll, wenn Erdbeben-tüchtigkeit verlangt wird, wie in den meisten Entwicklungsländern der Fall.

Deshalb wurde strategisch die Produktlinie ergänzt um innovativen Verbundbau von Decken mit Trapezblechen, die mit Kopfbolzendübeln durch das Blech hindurch mit dem Unterzug verschweißt werden, Bild 6.2-3.



Bild 6.2-3: Verbunddecken als Innovation in Entwicklungsländern, Prinzip  
Quelle: NELSON, Gevelsberg

Nochmals sei darauf hingewiesen: Trotz automatischem Schweißprozess ist das Durchschweißen von verzinkten Blechen so problematisch, dass es z. B. in Deutschland kaum angewendet wird. In Entwicklungsländern ist dieses Verfahren deshalb nur zu verantworten, wenn alle beteiligten Schweißer und Prüfer vorab seriös ausgebildet wurden, die Starkstromversorgung stabil ist und mit dem für Entwicklungsländer genügend simplen Hammertest (siehe vorletzter Bolzen rechts in Bild 6.2-3) auf der Baustelle hinreichend geprüft wird.

Diese Art der Verbundbauweise erübrigt auch das Einschalen vor dem Betonieren der Decke, welches sich in Entwicklungsländern mangels effizienter Schalungssysteme als sehr aufwändig und unfallträchtig erweist.

Um diese für den Iran innovative Bauweise einzuführen und durchzusetzen, wurde mit Firma KÖCO, Ennepetal, ein Vertriebs- und Servicevertrag über die Lieferung von Kopfbolzen und automatischen Schweißpistolen geschlossen. Beide Unternehmer und der Verfasser erhielten eine gründliche, theoretische und praktische Ausbildung in Kopfbolzenschweißtechnik sowie den einschlägigen Prüf-, Service- und Wartungsfragen. Ein erster Automat mit Schweißpistole wurde gespendet.

Mit diesem Fachwissen war es möglich, in den Normungsgremien und in der Baupraxis des Entwicklungslands diese effiziente Innovation einzuführen und den entstehenden Markt mit Kopfbolzen und Schweißautomaten zu beliefern. Fundierte Fachberatung, kompetente Soforthilfe bei Problemen und stete Verfügbarkeit von Ersatz- und Verschleißteilen unterschieden sich markant von den landesüblichen Gepflogenheiten der Branche. Ein entsprechend guter Ruf breitete sich aus mit erfreulichen Umsätzen in der Folge. Nach wenigen Jahren erschienen jedoch Nachahmer mit erheblich billiger angebotenen Kopfbolzen, teilweise aus chinesischer Fertigung. Davon testweise gekaufte Kopfbolzen erwiesen sich in Laboruntersuchungen ungeeignet für Verbundbau in erdbebengefährdeten Ländern, denn sie brachen spröde bei relativ geringer Verformung. Als Marketing-Gegenmaßnahme wurde daraufhin jedem Interessenten ein solider Vorschlaghammer geschenkt, mit dem auf einen Schlag der Unterschied zwischen sicheren Kopfbolzen und unzulässig spröden Bolzen der Wettbewerber nachzuweisen war. Letztere brachen beim ersten ordentlichen Schlag spröde ab, während der gleiche Test mit mehreren Schlägen das erdbebentüchtige, zähe Verformungsverhalten deutscher Kopfbolzen bewies, siehe Bild 6.2-3, vorletzter Bolzen rechts. Statt der in Europa gültigen Prüfverfahren sind in Entwicklungsländern derart „handfeste“ Prüfmethode nachhaltig überzeugend und werden dann auch angewendet.

Typische Problemfelder in Entwicklungsländern bei innovativem Technologietransfer dieser Form sind der hohe Einfuhrzoll, 40 % im Fall des Iran, das Wechselkursrisiko, hohe Inflation von 20 bis 30 Prozent, der Zahlungsverkehr über Banken, Transportdauer und der Verwaltungsaufwand mit Embargo-Prüfung des Exports durch das Bundesamt für Außenwirtschaftskontrolle BAFA.

Neben Krankenhäusern sind Industriehallen in Entwicklungsländern eine aussichtsreiche Produktlinie. Auch die Vorbildunternehmen haben zumeist mit Industriehallen angefangen. Es hätte daher nahe gelegen, sich für diese Produktlinie an die deutschen Vorbilder adaptiert anzulehnen.

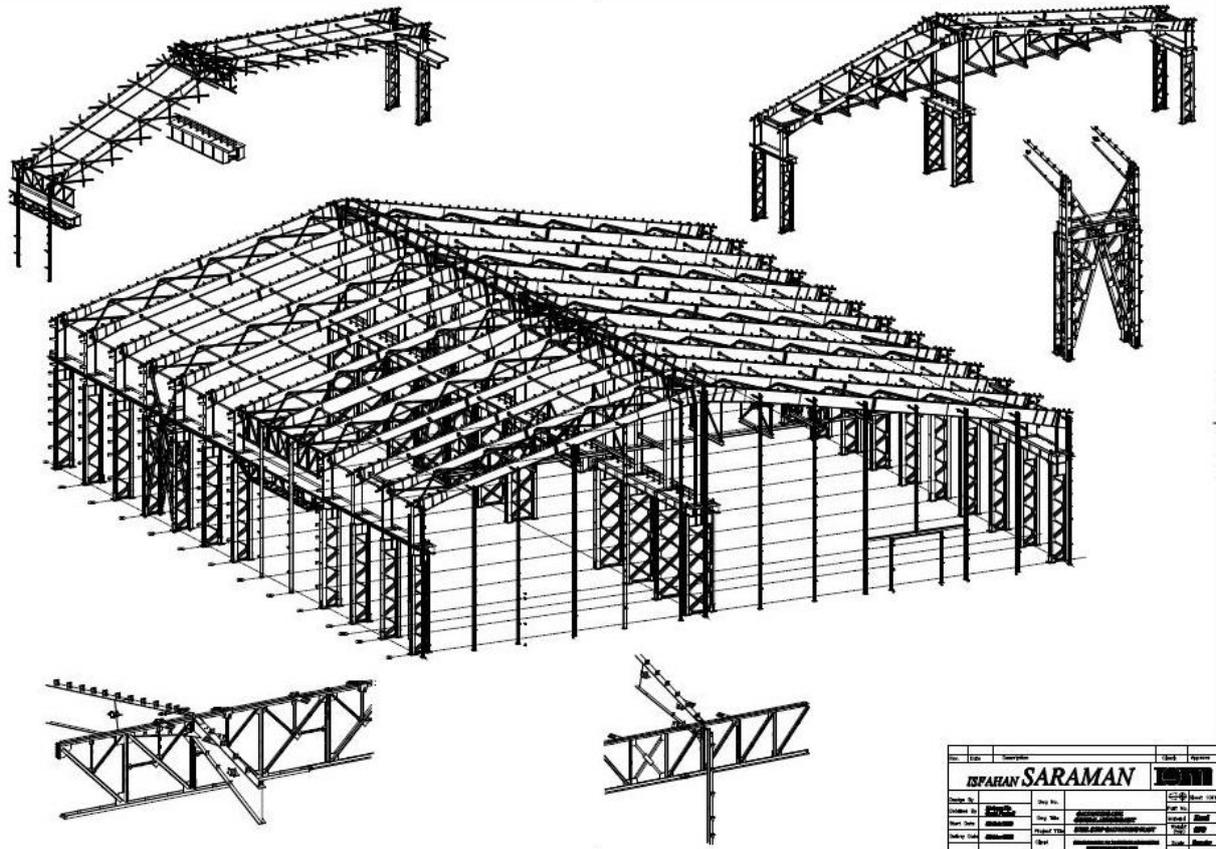


Bild 6.2-4: Entwicklungsland-Bauweise von Industriehallen, stark verrippt  
Quelle: SARAMAN

Dies jedoch stieß auf passiven Widerstand nicht nur der potentiellen Kunden, sondern auch der eigenen Mitarbeiter. Industriehallen hatten so auszusehen, wie gewohnt, also entsprechend Bild 6.2-4. Dass nur durch Innovation mit Effizienz und Sicherheit eine Chance in den hürdenreichen Märkten besteht, wurde von den Mitarbeitern trotz wiederholter anschaulicher und eindringlicher Erläuterung des deutschen Unternehmers nicht reflektiert. Personelle Konsequenzen konnten mangels Alternativen nicht gezogen werden. Der iranische Unternehmer hat den Daseinsgrund des Werkes zwar theoretisch verstanden und die entsprechenden Vorträge des deutschen Unternehmers stets korrekt ins Persische übersetzt, aber auf die Durchsetzung verzichtet.

Der nicht-technische Teil der hier konzipierten, strategischen Produktentwicklung für Entwicklungsländer ist, wie diese konkreten Erfahrungen zeigen, wesentlich schwieriger und zäher zu lösen als der erfreuliche, oft begeisternde technische Teil.

In Kapitel 6.4 wird dennoch der Versuch gewagt, für die nicht-technische Personalproblematik der Produktentwicklung und der zugehörigen Produktionstechnik eine in Entwicklungsländern funktionstüchtige Lösung zu erarbeiten.

Ursprünglich geplant war als wesentliche Produktlinie in Entwicklungsländern der Bau erdbebentüchtiger Wohnhäuser in ländlichen Gegenden mit sichtbarer Stahlfachwerkbauweise. Die Ausmauerung der Gefache mit ortsüblichen Strohlehmsteinen sollte Arbeitslosen vor Ort zu Arbeit verhelfen. Dazu war in den Wuppertaler DAAD-Sommerschulen und Besuchen von Expertengruppen, insgesamt fast 400 Teilnehmer, eine attraktive Produktlinie [1-7] entwickelt worden, Bild 6.2-5.



Bild 6.2-5: Produktlinie „Erdbebentüchtige Wohnhäuser“, sichtbares Tragwerk  
Quelle: Verfasser

Der Wohnungsbau in Entwicklungsländern ist weitgehend in den Händen der in Kapitel 1 näher definierten Gruppen. Bausparkassen und freier Markt sind beschränkt.

Große staatlich initiierte Bauprojekte von neuen Stadtvierteln bzw. Kleinstädten sind üblich.

Zur Vorstellung der innovativen Produktlinie deutsch/iranischer Entwicklung für erdbebentüchtige Wohnhäuser und Akquisition eines ersten Großprojekts erhielten beide Unternehmer einen mehrstündigen Termin beim damaligen Minister for Building and Housing. Er bot ein für eine Trabantenstadt nahe Isfahan erschlossenes Gelände an. Die üblichen Konditionen sind dabei wie folgt: Der Investor tritt finanziell in Vorleistung und beginnt mit den ersten 30 % der Bauleistung. Ab diesem Meilenstein darf der Investor an Interessenten die noch nicht fertig gestellten Wohnungen verkaufen. Mit diesen Einnahmen sind die restlichen 70 % der Bauleistung zu finanzieren. Für die Übereignung des erschlossenen Geländes erhält der Minister bzw. das Ministerium 30 % der gebauten Wohnungen. Allerdings wird kategorisch verlangt, zwanziggeschossige Hochhäuser zu bauen, damit sich die Sache lohnt. Eingewendet wurde, dass derartige Trabantenstädte nach Entwürfen des berühmten Architekten, Architekturtheoretikers und Stadtplaners Le Corbusier schon vor Jahrzehnten in Frankreich zu Ghettos mit sozialer Verwahrlosung geführt hatten. Komplette Dörfer senkrecht gestellt, verloren das soziale Gefüge von Dorfgemeinschaften, Bild 6.2-6.



Bild 6.2-6: Corbusierhaus Berlin, senkrecht Dorf auf geringer Grundfläche  
Quelle: Wikipedia

Die ohne Fahrstuhl auskommende, maximal dreigeschossige Fachwerkbauweise bewährter Sozialverträglichkeit wie vorgeschlagen, fand daher keine Gegenliebe. Zudem war das finanzielle Risiko der Vorfinanzierung unkalkulierbar. Staatlich vergünstigte Bankkredite gab es ohne werthaltige Sicherheiten nicht.

Dennoch wird in der hier entwickelten Konzeption die Idee erdbebentüchtigen Wohnungsbaus entsprechend der Wuppertaler Produktentwicklung nicht aufgegeben. So entstand das Konzept, Schulen in Entwicklungsländern in sichtbarer Fachwerkbauweise zugleich als Lehrbeispiel für erdbebentüchtigen Wohnungsbau in Dörfern und kleinen Städten zu bauen. Dieses Konzept wurde in gut besuchten Abendveranstaltungen beider Unternehmer den Führungskräften der School Reconstruction Organisation SRO nahe gebracht. Eine Expertendelegation der SRO besichtigte daraufhin in Deutschland den Bau qualitativ erstklassiger Schulen, Bauzeit bis zur Inbetriebnahme nur 6 Monate. Der Bau von Schulen in Entwicklungsländern nimmt Jahre in Anspruch, wie an einem zweiten Fallbeispiel, Tansania, in Kapitel 7.5 verallgemeinert. Das Erstaunen der Delegationsmitglieder über die deutsche Produktentwicklung und Produktionstechnik war groß, zumal die Flexibilität der zugrunde liegenden Systematik aller sehr individuell gestalteten Schulen verblüffte.

Daraufhin wurde SRO als Dauer-Auftraggeber für Schulbauten des Landes gewonnen. Erste Produktentwicklungen gegenüber landesüblichen Lösungen wurden dabei direkt mit den SRO-Führungspersonen erörtert und nach Adaptierung in bekömmlichen Schritten zugelassen, Bild 6.2-7.

Durch den wirtschaftlichen Niedergang ist der Schulbau Ende 2011 zum Stillstand gekommen. Bei Besserung kann die effiziente, sichere Lösung von Schulbauten sofort wieder aufgenommen werden, zumal noch erhebliches Verbesserungspotential entsprechend den deutschen Vorbildunternehmen die Führungskräfte der SRO motiviert. Die Fluktuation insbesondere der Führungskräfte in Entwicklungsländern ist allerdings erheblich. Nach einem Wechseln beginnt die Überzeugungsarbeit von vorn, die neuen Führungskräfte für effizientes, sicheres Bauen als Dauer-Auftraggeber wieder zu gewinnen.



Bild 6.2-7: Schulbau mit adaptierten Innovationen  
Quelle: SARAMAN, Ghahjavarestan-School

Entwicklungsland-Problematik insgesamt bedenkend, wird ein extremer Ansatz der Produktstrategie gewagt. Es wird ein Stahlbauunternehmen allein für Blechverarbeitung und Blechschweißträger konzipiert, das Walzträger vermeidet. Eine dermaßen auf das landesspezifisch Wesentliche von Entwicklungsländern konzentrierte Produktstrategie mit Blechen ist nach Auskunft einschlägiger internationaler Maschinenhersteller bisher im Stahlbau noch nicht realisiert worden. Die hier entwickelte Lösung ist daher in der Tat neu, innovativ und als Vorbild bedeutend, da wirtschaftlich tragfähig durch Effizienz und Sicherheit.

Das folgende Kapitel 6.3 „Werkslayout, Produktionstechnik, Montage“ konkretisiert diesen Ansatz bis ins Detail.

### 6.3 Werkslayout, Produktionstechnik, Montage

Das nachfolgend erarbeitete Werkslayout ist für Entwicklungsländer allgemeingültig in allen Grundsätzen. Jeder Einzelfall wird jedoch lokale Gegebenheiten, z. B. die Erschließung durch Straßen, zu berücksichtigen haben. Die Herleitung erfolgt am konkreten Fall, Bild 6.3-1.

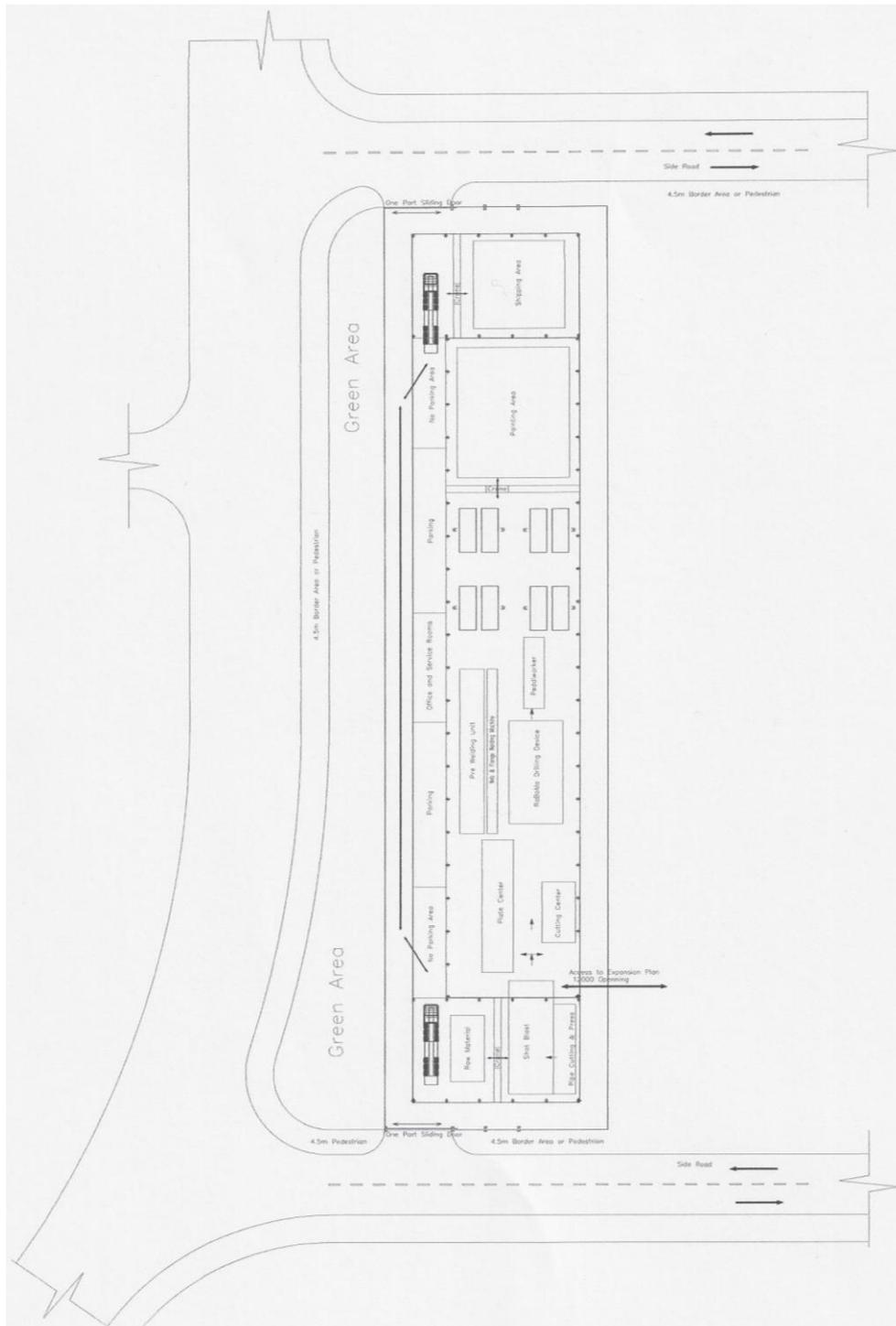


Bild 6.3-1: Werkslayout für ein Stahlbauwerk im Entwicklungsland  
 Quelle: SARAMAN Isfahan, Industriepark RAZI

Das diskutierte Fallbeispiel weist folgende lokalen Randbedingungen auf:

Das aus Privatmitteln gekaufte Grundstück im entstehenden Industriepark „RAZI Industrial Town“ am Isfahan-Shahreza Highway ist beidseits von Schotterstraßen erschlossen, Bild 6.3-1. Dies wird für das Werkslayout sinnvoll genutzt.

Für die Anfahrt von LKW mit Rohteilen und die Abfahrt mit Versandteilen ist dieses Werkslayout sogar günstiger als im Vorbildunternehmen, Bild 5.2-5. Ein Kreisverkehr, dort zum Wenden der LKW erforderlich, kann hier bei geschickter Mitnutzung gesetzlich vorgeschriebener Feuerwehr-Rettungswege entfallen. Rettungswege, von fünf Meter Breite ringsum längs der Grundstücksumzäunung haben mit diesem Konzept also produktive Nutzung als Zulieferstraße. Entsprechend wird die Anlieferungshalle mit 19 m Breite und 30 m Länge so angeordnet, dass für LKW mit Rohmaterial eine Durchfahrtsstraße durch das letzte, stirnseitige Feld der Anlieferungshalle führt, beidseits mit schnellschließenden Rolltoren. Die gleiche Lösung wurde für den Versand gewählt. Die durchgehende Werksstraße stellt sicher, dass das unfallträchtige Zurücksetzen und Rangieren von LKW vollständig entfällt. Sie fahren vorwärts ein- und aus.

Der Layout-Plan des für Entwicklungsländer allgemein konzipierten Werkes, vom Verfasser mitentwickelt, musste zumindest für die erste Bauphase aus typischen Entwicklungsland-Gründen minimalistisch gekürzt werden. In der Entwicklungszeit und der Planungsphase stiegen die Stahlpreise im Iran um 40 %. Die Baufinanzierung reichte daher nur für die Hälfte der in Bild 6.3-1 dargestellten Hallen, ohne Maschinenpark.

Für die Ausstattung mit Maschinen hatte der iranische Unternehmer keine Finanzierung vorgesehen. Die deutsche Seite sprang ein, begrenzte das Engagement allerdings auf maximal 200.000 Euro unter der Bedingung, dass tatsächlich mit diesen Mitteln im Entwicklungsland eine effiziente, sichere CAD/CAM/CNC-Prozesskette für das hier konzipierte Produktspektrum realisiert werden kann und wird.

Erstmals im Stahlbau wurde daher ein Stahlbauunternehmen mit ausschließlich auf Blechbearbeitung fokussierter Prozesskette gewählt. Der symbolische Layout-Plan Bild 6.3-2 zeigt entsprechend das Grundstück, die Werksstraßen und die Fließfertigungslinie.

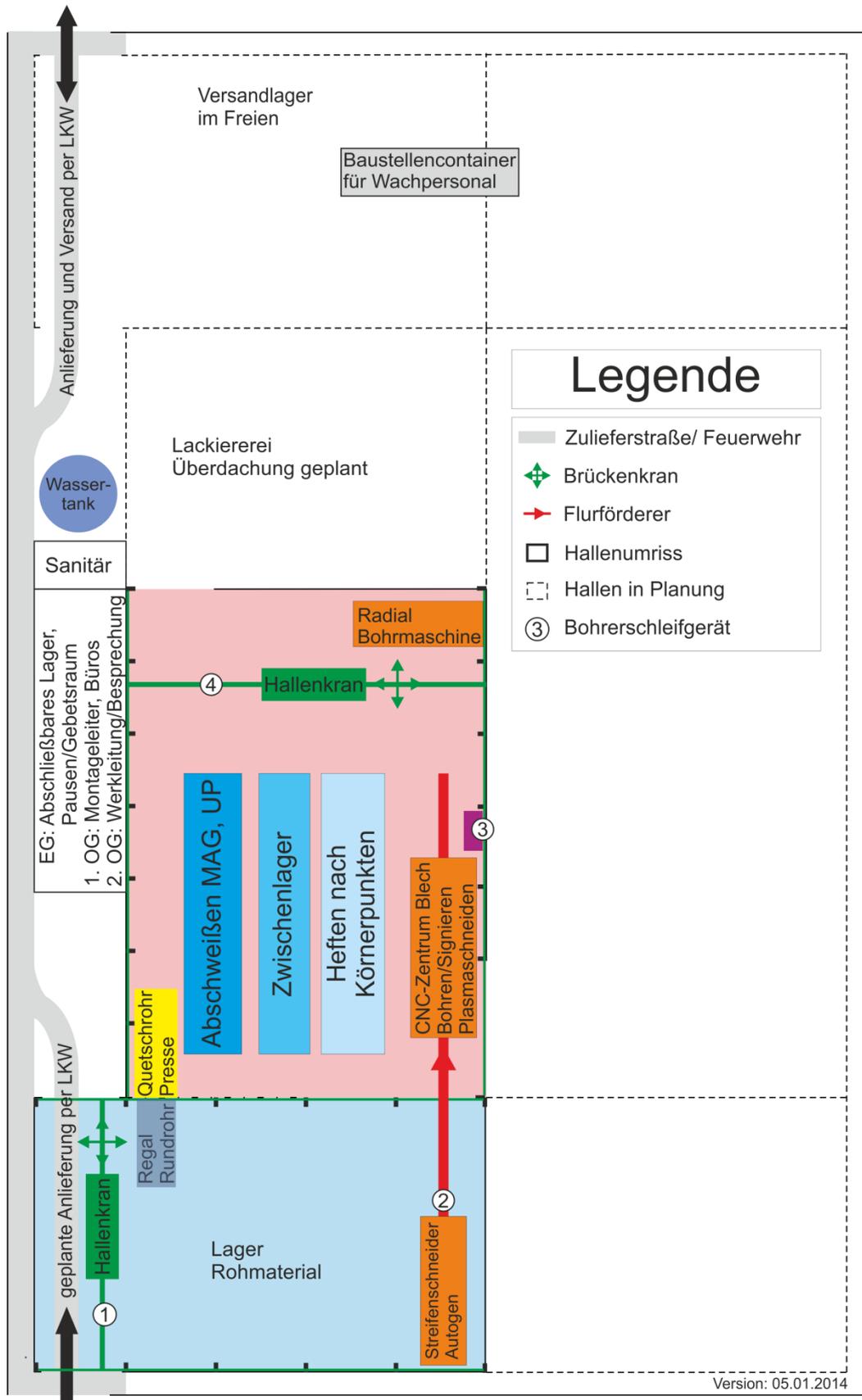


Bild 6.3-2: Werks- und Maschinenlayout, Muster für Entwicklungsländer  
 Quelle: Verfasser

Als Symbole werden in Bild 6.3-2 die gleichen wie in Kapitel 5.2 für den Layout-Plan des Technologieführers (Bild 5.2-6) verwendet, damit ein direkter Vergleich möglich ist.

Im Frühjahr 2012 entstanden somit nur zwei rechtwinklig zueinander angeordnete Hallen sowie ein Verwaltungsbau mit Büros und diebstahlsicherem Lager für Werkzeuge und Zubehör. Der Wasseranschluss des Industrieparks fehlte, ist aber nachweislich im Bau. Eine Zisterne in der Nähe des Toilettenanbaus ist hilfsweise eingerichtet. Die Stromversorgung ist funktionstüchtig. Eine Internetverbindung, erforderlich für Wartungsfälle der CAD/CAM/CNC-Prozesskette, fehlt bzw. ist unbrauchbar.

Das gekaufte Areal ist im Layout-Plan verkürzt und gestrichelt eingezeichnet. Es reicht, um später einmal Erweiterungen um das Vierfache vorzunehmen.

Die Bedingung des deutschen Unternehmers, effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern mit der von ihm finanzierten CAD/CAM/CNC-Prozesskette experimentell nachzuweisen, soll mit der Konzeption Bild 6.3-2 wie folgt erreicht werden:

Ausnahmslos alle zu fertigenden Einzelteile bestehen konzeptionsgemäß aus Blechmaterial. Sie werden auf dem im Layout-Plan Bild 6.3-2 als „CNC-Zentrum Blech“ gekennzeichneten CNC-Blechbearbeitungszentrum gefertigt. Vom CAD/CAM-System des Planungs- und Konstruktionsbüros werden die CNC-Steuerdaten geliefert. Die Einzelteile für Blechstege, Ober- und Unterflansch von zusammengesetzten Trägern, Knotenbleche etc. kommen fertig bearbeitet aus diesem CNC-Zentrum mit allen Bohrungen, Körnungen, Signierung und Konturschnitten. Sie besitzen exakt mit CNC-Präzision die geplante, vollständige Endgeometrie.

Für den maßgenauen Zusammenbau ohne Messen durch Werker wird die relative Lage der Einzelteile zueinander über die vom CNC-Zentrum gebohrten Körnerpunkte vorgegeben. Werker dürfen zukünftig also nicht mehr messen. Messfehler sind methodisch ausgeschlossen. Dieser Prozessschritt ist so entscheidend, dass er bildlich auf dem Deckblatt dieser Arbeit wiedergegeben ist.

Freihand-Brennschnitte entfallen vollständig. Sie wären Sabotage an der präzisen Endgeometrie der Einzelteile bzw. des Bauteils. Der Werksleiter ist als Verantwortlicher verpflichtet, keine derartigen Primitivoperationen zu dulden.

So weit bekannt, ist ein CNC-Blechbearbeitungszentrum im Stahlbau des Iran bisher vorbildlich, also ein Alleinstellungsmerkmal. Sinn ist nicht primär die Einsparung von Werkern. Es werden im Schichtbetrieb immerhin drei Werker und ein Springer ge-

braucht, um keine menschlich bedingten Totalausfälle des Zentrums und somit Stillstand der Fertigung zu riskieren. Zusätzlich sind zwei CAM-Ingenieure erforderlich, einer als Springer, um die Körnerpunkte nachzutragen, von deren fertigungstechnischer Bedeutung der CAD-Konstrukteur des Auftraggebers nichts weiß und sie also auch nicht konstruiert.

Kerngedanke für die Fertigung mit einem CNC-Zentrum in einem Entwicklungsland ist es also, alle menschlichen Fehler und Ungenauigkeiten infolge Inkompetenz, Unaufmerksamkeit oder Unverständnis durch die Fertigungsmethode sicher auszuschließen, so dass die hergestellten Bauteile auf der Baustelle ohne jede Nacharbeit sofort passen.

Auch wenn die gesamte Produktion über das CNC-Blechzentrum läuft, bestehen genügend Kapazitätsreserven durch Ein-, Zwei- oder Dreischichtbetrieb. Die Leistungsdaten liegen zudem weit über den landesüblichen Primitivverfahren. Die Bohrleistung der mit trockener Druckluft gekühlten Kühlkanal-Bohrer in drei Aggregaten mit jeweils unterschiedlichen Durchmesser sowie die Brennschnittleistung mit Plasmabrenner sind bester Stand der Technik, international.

Die Anzahl der dem CNC-Zentrum nachfolgenden Zusammenbauplätze ist daher zumeist der Fertigungsengpass. Maschinenausfall des CNC-Zentrums ist sehr kritisch. Fernwartung aus Deutschland muss über eine maschineneigene Internet-Verbindung mit Kamera funktionstüchtig vorgehalten werden. Diese aber existiert nicht, stattdessen ist man auf Mobiltelefone angewiesen. Ersatzteile sind notfalls einzufliegen. Da das CNC-Zentrum zuvor bei einem Stahlbau Unternehmen in Deutschland unter ähnlichen Lastbedingungen zehn Jahre lang zuverlässig gearbeitet hat, werden jedoch keine kritischen Ausfallzeiten erwartet.

Ein fertigungstechnisches Problem bei Brennschnitten sehr langer Teile von bis zu 18 Metern ist jedoch bei CNC-Zentren für Blechbearbeitung zu beachten: Beim Brennen eines langen Schnittes mit nur einem Brenner verformt sich das auf den Blechtafeln geschachtelte Teil durch die Wärmeeinbringung längs des Schnittes leicht bananenförmig. Toleranzen unter 0,5 Millimetern wären nicht gesichert. Daher ist dem CNC-Zentrum im Fertigungsfluss an Rollgang 2 eine klassische Brennschneidanlage in der Anlieferungshalle vorgelagert, die mit bis zu sieben parallelen Brennern mit symmetrischer Wärmeeinbringung aus den Blechtafeln gerade Streifen mit der gewünschten Breite in Blechlänge schneidet, Bild 6.3-3.



Bild 6.3-3: Streifenschneider mit landesüblichen Propanbrennern  
Quelle: Verfasser

Die Streifen werden dann über den Rollgang 2 aus der Anlieferungshalle in die Fertigungshalle zum Eingangspuffer des CNC-Zentrums gefahren und von dort automatisch abgearbeitet und ausfahrseitig abgelegt.

Von dort holt sie der Hallenkran mit Magnettraverse ab und bringt sie zum nächsten freien Zusammenbauplatz. Kleinteile werden vom CAM-Ingenieur auf Blechtafeln geschachtelt. Das CNC-Zentrum legt die fertigen Kleinteile, z. B. Kopfplatten, über einen Hub-Tisch in eine Transportwanne. Diese wird nach hinreichender Füllung vom Hallenkran ausgehoben, so dass die mit Positionsnummer signierten Kleinteile zu den zugehörigen Zusammenbaustationen gebracht werden können. Nach der für den jeweiligen Zusammenbauplatz gelieferten CAD-Werkstattzeichnung der Zusammenbauposition mit allen erforderlichen Ansichten und Schnitten inkl. Positionsnummern und Kontrollmaßen wird dann das Leitteil mit seinen Anbauteilen nach dem Platzieren und Justieren anhand der Körnungen durch Schweißen verbunden. Aus Blechen zusammengesetzte H-Träger oder Kastenträger werden zuvor in einer fallweise ge-

mieteten, halbautomatischen Unterpulver-Schweißanlage mit Halskehlnähten versehen.

Nach dem Zusammenbau folgen abschließend das Farbspritzen im Freien und der Versand. Einziges Transport- und Handhabungsmittel ist hier der Gabelstapler. Diese Primitivsituation muss in einer zweiten Investitionsphase beseitigt werden, effizient und sicher.

Die Abmessungen und die Anordnung der beiden Hallen entsprechen weitgehend den Erfahrungswerten der Vorbildunternehmen, jedoch ist die Ausrüstung mit Kranen und Flurfördereinrichtungen drastisch geringer, wie der Vergleich von Bild 6.3-2 mit Bild 5.2-5 zeigt. Die Kapazität der Flurfördermittel, Krane und Stapler kann bei Bedarf noch erhöht werden, z. B. durch weitere Krane auf denselben Kranbahnen.

Die technischen Spezifikationen und Arbeitsbereiche des CNC-Zentrums sind nicht willkürlich gewählt, sondern durch Analyse von Aufträgen im Spektrum der Produktstrategie quantitativ ermittelt.

Die übliche Blechbreite der von Stahlwerken ab Lager gelieferten Bleche beträgt 1,5 m, siehe Tabelle 6.3-1.

| Thickness (mm) | Available Width (mm)   | Price (Euro/Kg)              | Producer               |
|----------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| 6              | 1000, 1200, 1500, 1800 | 0,664 - 0,672                | Isfahan Steel Co.      |
| 8              |                        |                              |                        |
| 10             |                        |                              |                        |
| 12             |                        |                              |                        |
| 15             |                        |                              |                        |
| 15             | 2000, 4500 (on demand) | 0,691 - 0,702 + 0,02 transp. | Ahvaz Kavian Steel Co. |
| 20             | 2000, 4500 (on demand) | 0,736 - 0,745 + 0,02 transp. |                        |
| 25             | 2000, 4500 (on demand) | 0,691 - 0,702 + 0,02 transp. |                        |
| 30             |                        |                              |                        |
| 35             |                        |                              |                        |
| 40             |                        |                              |                        |
| 45             |                        |                              |                        |
| 50             |                        |                              |                        |

Tab. 6.3-1: Stahlbleche iranischer Hersteller, Stand April 2012  
Quelle: Herstellerprospekte

Diese Breite hat nicht nur Preisvorteile beim Einkauf und der Verfügbarkeit ab Lager der Stahlwerke, sondern erlaubt gegenüber schmaleren Blechen auch prozentual weniger Verschnitt beim Schachteln der Einzelteile auf dem Rohblech. Die Standard-Lieferlänge der Bleche beträgt 6 m bei kurzfristiger Lieferung ab Lager ohne Preis-aufschläge. Tabelle 6.3-1 gibt eine komplette Übersicht über verfügbare Blechdicken und Blechbreiten in einem Entwicklungsland, Preise Stand Anfang 2012.

Die Konzeption des Blechlagers und des Blechtransports entspricht also den Vorbildunternehmen, jedoch bezüglich der Abmessungen adaptiert an die Materialverfügbarkeit und Preispolitik für Stahlbleche in Entwicklungsländern.

Die Hakenlast des Brückenkrans für das Rohteil-Lager entspricht dem Gewicht des schwersten zu erwartenden Blech-Rohteils, nämlich 7 Tonnen. Dem folgen die Überlegungen zur Hakenlast des Brückenkrans in der Fertigungshalle, die dem schwersten im angestrebten Produktspektrum zu erwartenden Bauteil entsprechen muss.

Der Bau einer Anlieferungs- und Lagerhalle ist in Entwicklungsländern aus folgenden Gründen vorrangig: Bei hoher Inflation ist der spekulative Einkauf von Rohblechen für das wirtschaftliche Ergebnis der Unternehmen von erheblicher Bedeutung. Gut beratene Dauerkunden kaufen mit Jahresrestmitteln Rohbleche ein und lassen sie kostenlos in der Anlieferungshalle einlagern. Dies erhöht die Aussicht, im nächsten Jahr entsprechende Aufträge erteilt zu bekommen. Dauerkunden in Entwicklungsländern haben zumeist feste Jahresbudgets, so dass Preisgleitklauseln de facto ins Leere gehen. Preiserhöhungen während der Bauzeit werden ggf. nicht bezahlt, was angesichts einer Inflation über 22 % zu entsprechender Angebotskalkulation auf der sicheren Seite zwingt. Da jedoch die Fähigkeit zu zutreffender Angebotskalkulation in Entwicklungsländern mangels Ausbildung und Kompetenz nicht entwickelt ist, ergibt sich ein unkalkulierbares Glücksspiel. Alternativangebote effizienter, sicherer Lösungen mit weniger Materialeinsatz durch Kompetenzführer haben somit auch für den Auftraggeber den Reiz, unbezahlbare Kostenerhöhungen abzufangen, die ansonsten zu reduzierter Bauleistung geführt hätten. Daraus ergeben sich Gelegenheiten, Innovationen als Präzedenzfälle mit voller Unterstützung von Kunden durchzusetzen, die lokal bestens vernetzt sind, siehe Bild 6.2-7.

Der Materialfluss in einem Stahlbauwerk ist wegen der Länge der stabförmigen Werkstücke von bis zu 18 m (max. Ladelänge LKW) immer so zu gestalten, dass vom Abladen der Rohteile bis zum Versand der Fertigteile auf LKW Stäbe zwar um

ihre Längsachse, aber niemals um ihre Querachse gedreht werden müssen. Eine solche Drehung um die Querachse bei bis zu 18 m Stablänge im Materialfluss wäre abgesehen vom Platzbedarf zeitaufwändig und unfallträchtig. In manchen historisch gewachsenen deutschen Stahlbauunternehmen war bei ungünstigen Grundstücksverhältnissen zwar dieser konzeptionelle Fehler hinzunehmen. Bei Planung eines Werks „auf der grünen Wiese“, wie hier, sind jedoch diese prinzipiell überflüssigen Drehungen konsequent zu vermeiden. Nur so bleiben die Transportzeiten im Werk, also Nebenzeiten und Verteilzeiten, in sinnvoller Relation zu den Hauptzeiten der Fertigung mit Entzundern, Bohren, Signieren, Brennen, Heften, Schweißen und Beschichten. Auch hier liegt die Chance eines Alleinstellungsmerkmals durch höhere Effizienz, zugleich höhere Sicherheit am Arbeitsplatz.

Diesem Grundsatz folgend, sind in Bild 6.3-2 die Entlade- und Ladestraßen parallel zum Materialfluss in der Fertigungshalle ausgerichtet. Der Brückenkran der Anlieferungshalle hebt mit seiner Magnettraverse, also ohne dass die Rohbleche von Hand angeschlagen werden müssen, das anstehende Rohteil vom LKW ab und stellt es in dieser Lage ohne Drehung an die vorgesehene Position in ein Lagergestell für aufrechte Lagerung, das vom Verfasser konstruiert in Kapitel 8 vorgestellt wird.

Mindestens ein Brückenkran in der Fertigungshalle ist als Handhabungsmittel zusammengebauter Versandpositionen erforderlich, fallweise unterstützt durch einen Gabelstapler.

Grundsätzlich ist zu klären, ob in einem Entwicklungsland überhaupt eine Strahlanlage sinnvoll ist. In den Vorbildunternehmen garantiert die Strahlanlage genau die Oberflächenqualität des Rohmaterials, die ideal für das Schweißen und die anschließende Beschichtung in der Pulverbeschichtungsanlage ist, eine kurze Durchlaufzeit von wenigen Tagen zur Vermeidung von Flugrost vorausgesetzt. Die Oberflächenqualität und die Dauerhaftigkeit der Beschichtung sind auf diese Weise so gut, dass Nacharbeit auf der Baustelle oder gar nach Montage sogar für den finalen Farbauftrag entfällt. Auf effizienteste Weise wird so in Werkstattfertigung ein perfektes Beschichtungsergebnis erzielt, das selbst anspruchsvolle europäische Kunden begeistert.

Der vorläufige Verzicht auf eine Strahlanlage, jedoch mit allen Vorkehrungen zur späteren Nachrüstung bei entsprechender wirtschaftlicher Situation, macht daher Sinn.

In der Anfangsphase eines Werkes ist Vollausslastung nicht zu erwarten. Deshalb wird dazu geraten, zunächst auf Querförderer als Puffer in der Rohteilhalle und in der

Fertigungshalle zu verzichten, den Platz dafür aber vorzusehen. Eine spätere Nachrüstung ist bei der Konstruktion der provisorischen Rollgänge jedoch einzuplanen. Ein ähnliches Problem sicheren Flurtransports von Halle zu Halle stellt sich durch die Option des Landkaufs, später parallel zur bestehenden eine weitere Fertigungshalle zur Erhöhung der Werkskapazität anzuordnen, Bild 6.3-1. Ohne Drehung müssen dort Stäbe bis zu 12 m Länge quer von der ersten zur zweiten Fertigungshalle befördert werden. Dazu wird ein entsprechend großer, stützenfreier Bereich durch ein Fachwerk-Portal vorgeschlagen. Im kontinuierlichen Materialfluss übernimmt dort bei Erweiterung des Werks ein Flurförderer mit Hubschlitten, auch Querpuffer genannt, den Quertransport ohne Drehung von Halle zu Halle, ähnlich Bild 6.3-4 vorn.



Bild 6.3-4: Flurförderung: Rollgänge und Quarförderer  
Quelle: GOLDBECK

Frühere Versionen von Quarförderern wurden „Querschlepper“ genannt, die durch Stahl/Stahl-Reibung unzulässig laut kreischten und reibungsarme Teflon-Auflagen rasch zerstörten. Heute sind Quarförderer mit Hubschlitten ausgerüstet, die durch Anheben vor dem Quarfahren relativ geräuscharm arbeiten. Lediglich beim Dichtschieben von Trägergruppen kann stärkeres Geräusch entstehen.

Generell wird für Werke in Entwicklungsländern vorgeschlagen, anschlagfreie Flurförderung als effizienteste und sicherste Transportart für Bleche vorzusehen. Während mehrere Krane auf denselben Kranbahnen sich gegenseitig blockieren können, kann der Längstransport von Blechen bzw. Blechträgern auf Rollgängen ungehindert durchlaufen und am jeweiligen Ziel auf dem Querförderer als Puffer abgelegt werden. Der Flurfördertransport, immer auf derselben Höhe von üblicherweise 80 cm, erübrigt jegliches Anschlagen an einen Hallenkran. Flurförderung ist somit hier das Hauptfördermittel, solange die Bauteile noch nicht durch Anbauteile pratzig geworden sind. Dies ist erst nach dem Arbeitsschritt „Heften“ der Fall.

Eine Eigenfertigung passender Rollgänge in Entwicklungsländern erscheint möglich und kostengünstiger als der Import unter sehr ungünstigem Wechselkurs und Zollhindernissen.

Ein Vergleich der hier erarbeiteten Minimallösung mit Vorbildunternehmen zeigt, wie schwierig es ist, sich ausgewogen im Maschinenpark auf das Notwendigste zu beschränken und dennoch effizient ohne Wartezeiten zu produzieren.

Da nach bisheriger Fertigungsweise in Entwicklungsländern alle Leitteile auf den Böcken der Zusammenbauplätze vom Hallenkran oder schlimmstenfalls vom Stapler in günstige Schweißposition um die Längsachse gedreht werden müssen, wird ein einziger Hallenkran zum Engpass. Ein zweiter Kran scheint notwendig, um an den vielen Zusammenbauplätzen keine allzu großen Wartezeiten wegen belegten Krans entstehen zu lassen. Zusätzlich bieten sich effizientere Lösungsmöglichkeiten unterschiedlichen Investitionsvolumens an, die ggf. miteinander kombiniert die steigenden Kapazitätsanforderungen ohne Zeitverluste durch Warten auf Transportmittel erfüllen. Bei steigender Auslastung des Werks führt der Ersatz der Lagerung auf Böcken im Zusammenbau durch Wendomaten zu erheblicher Steigerung der Effizienz, Sicherheit und Schnelligkeit. Die Funktionsweise von voll ausgerüsteten, autarken Zusammenbauplätzen mit Wendomaten und eigenen Transportmitteln wurde bereits in Kapitel 5.2 detailliert erläutert und dort mit Bild 5.2-15 veranschaulicht.

Da die Personalkosten von Schweißern in Entwicklungsländern im Vergleich zu deutschen Verhältnissen sehr gering sind, ist die Vorbildlösung mit voll ausgerüsteten Zusammenbauplätzen aus wirtschaftlichen Gründen zunächst nicht übertragbar, da unwirtschaftlich. Entsprechender Platz wird im hier entwickelten Layout-Plan des dennoch vorgesehen, denn im Falle hoher Auslastung des Werks mit Mehrschichtbetrieb sind die Zusammenbauplätze der Engpass der gesamten Fertigung, den Durch-

satz bestimmend. Wenn die Anzahl der Zusammenbauplätze in der Fertigungshalle nicht mehr erhöht werden kann, bietet die nachträgliche Vollausrüstung mit Wendomaten und lokalem Kran die entscheidenden Reserven. Zu bedenken ist auch, dass diese Ausrüstung die Arbeitssicherheit der Werker drastisch verbessert.

Als Adaption an die lokalen Verhältnisse liegt es nahe, die Arbeitsgänge „Heften“ und „Abschweißen“ vom gleichen Werker am gleichen Zusammenbauplatz auszuführen, also Transport einzusparen. Die Aktion „Zwischenlager“ entfällt dann.

Im Vergleich zu Vorbildunternehmen sind die Verhältnisse in Entwicklungsländern bezüglich der Beschichtungsverfahren für Bauteile primitiv, gesundheitsgefährdend und personalintensiv. Kunden sind es nicht gewohnt, für die Beschichtung angemessen zu bezahlen, so dass keine Marktnachfrage besteht, die Investitionen rentierlich machte. Hinzu kommt, dass die Arbeitsschutzbestimmungen unterentwickelt sind. Werker lassen sich durch Schutzbestimmungen nicht in ihrer Arbeit behindern, wie auch Bilder der ohne jede eingehängte Sicherung arbeitenden Monteure zeigen.

Farbbeschichtung wird deshalb zunächst im Unterauftrag an Subunternehmer vergeben, die im Freien auf Böcken, teilweise auf dem Boden schlecht ausgerüstet die Arbeit erledigen.

Das Transportproblem, die unbeschichteten, prätzigen Versandteile von der Fertigungshalle ins Freie zum Farbspritzen und Versand zu befördern, wird unter diesen Umständen wohl mit allen Nachteilen verbunden durch Gabelstapler erledigt. Eine Verlängerung der Kranbahn und Bodenschiene des Halbportalkrans ins Freie und eine hinreichend große Schiebetür zum winddichten Verschließen der Fertigungshalle wird jedoch dringend empfohlen. Ausgerechnet im Bereich des Zusammenbaus beim Heften und Abschweißen Windprobleme mit Verblasen des Schutzgases zu riskieren, wäre weder effizient noch sicher.

Maschinen sind ohne Personal nichts. Die in allen Entwicklungsländern ungemein problematische Personalfrage wird deshalb im folgenden Kapitel 6.4 erörtert.

## 6.4 Personal, Ausbildung und Mitarbeiterbeteiligung

In Kapitel 5.3 wurden deutsche Lösungen des Personal-Schlüsselproblems vorgestellt. Die Wirtschaftssysteme von Entwicklungsländern weichen in dieser Frage erheblich ab, auch die Behandlung von Arbeitern/Mitarbeitern. Überwiegend werden diese nur als ungelernete Tagelöhner von Subunternehmern oder, im Fall von Akademikern, nur als frei Tätige auftragsweise eingesetzt. Der Begriff „Mitarbeiter“ trifft daher nicht im europäischen Sinne zu. Stattdessen erledigt fallweise bezahltes Subunternehmer-Personal“ in Entwicklungsländern den Hauptteil der Alltagsarbeit eines Werkes, d. h. das Werk wird dem Subunternehmer zur Verfügung gestellt.

Der Aufbau eines leistungsfähigen Kernteams echter Mitarbeiter in Führungspositionen ist, wie die Fallbeispiele und Versuche in diesem Projekt zeigen werden, noch problematischer als in den deutschen Vorbildunternehmen. Ein Ausstrahlen auf die Werker und entsprechende Prägung für Wertarbeit in Eigenkontrolle bleibt bei dieser Grundsituation fast aussichtslos. Es wird ein langer, dorniger Weg sein, schrittweise die Mentalität effizienter Qualitätsarbeit in eigener Verantwortung bei Führenden wie Werkern in Entwicklungsländern zu erreichen.

Wie also wird das Personalproblem im Rahmen dieser Arbeit systematisch einer funktionstüchtigen Lösung zugeführt bzw. zuzuführen versucht?

Es könnte ein vernünftiger Lösungsansatz sein, für das Unternehmen des experimentellen Nachweises die in Kapitel 3 begründete Kombination „Deutscher Unternehmer gemeinsam mit Unternehmer aus dem Entwicklungsland“ zu ergänzen mit einem Erfolgsunternehmer aus dem Entwicklungsland als Investor. „Finanzen“ und „Vertrieb“ liegt dadurch in lokal erfahrenen Händen, ein erster Schritt zum kompetenten Kernteam.

Ein exemplarisches Beispiel zeigt, wie ein Investor in Entwicklungsländern segensreich den Aufbau eines neuartigen Unternehmens fördern kann. Die Eignung des hier konkret gefundenen Investors sei kurz anhand seines beruflichen Werdegangs aufgezeigt: Für Finanzen und Auftragsakquise im Entwicklungsland war seine Stellung als Präsident des House of Industries and Mines günstig. Es hat Funktionen ähnlich einer Industrie- und Handelskammer. Der Inhaber mehrerer Industrieunternehmen im Entwicklungsland führt seinen beruflichen Erfolg darauf zurück, dass er nach dem Studium für zwei Jahre zu einem führenden Technologieunternehmen nach Duisburg entsandt wurde. Dort lernte er, wie Hochöfen für Stahlerzeugung kon-

zipiert und betrieben werden müssen, um qualitativ einwandfreien Stahl wirtschaftlich herzustellen.

Er gründete private Gießereien mit deutscher Technologie im Entwicklungsland. Mit einer Gießerei für hochlegierte, verschleißarme Mahlkugeln für Mahlwerke in Zementfabriken und entsprechend von ihm und dem deutschen TÜV ausgebildetem, lokalem Personal erarbeitete er sich ein Alleinstellungsmerkmal. Die Qualität der Mahlkugeln war sogar auf dem Weltmarkt wettbewerbsfähig, so dass entsprechende Deviseneinnahmen erzielt wurden. Dies ermöglichte den Kauf moderner Gießereianlagen und Elektroöfen in Deutschland, die jeweils mit einem Ausbildungspaket geliefert wurden, das auch Qualitätsaudits und Urkunden des deutschen TÜV einschloss. Abgerundet wurden diese Maßnahmen durch ein betriebsinternes Sozialwesen und Erfolgsbeteiligung der Mitarbeiter, im Lande völlig unüblich. Dem Personal ist bewusst, dass Ausbildung und Sozialwesen der kompetenten und sozial engagierten, privaten Unternehmensführung zu verdanken ist. Dies bewirkt eine gewisse Loyalität. Ein „Dreigestirn“ mit erfahrener Investor und zwei engagierten Professoren aus beiden Welten als Nukleus des Kernteams wird als bestmöglicher Ansatz in Entwicklungsländern gesehen. Der Verfasser war wegen gleichzeitiger Kenntnis beider Welten für wissenschaftliche Begleitforschung unterstützend vorgesehen. An der lokalen Eliteuniversität wurden zehn junge Hoffnungsträger für die fachliche Ausbildung in Deutschland ausgewählt. Durch einschlägige Promotion mit experimenteller Verifizierung oder Praktika in Deutschland, ähnlich dem Thyssen-Praktikum des Investors, sollten sich so Persönlichkeiten herausbilden, das Kernteam zu ergänzen. Eine DAAD – Hochschulkooperation der Bergischen Universität Wuppertal (BUW) und Promotionsstipendien der FES- und FNS-Stiftungen unterstützten das ambitionierte Ausbildungsprojekt. Einige der vorgesehenen, für Entwicklungsländer bedeutenden Themen dieser Ausbildung, teilweise ergänzt durch deutsche Doktoranden, lauteten:

- Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern
- Berechnung, Bemessung und Detaillierung für innovativen Stahlbau in Entwicklungsländern
- System-Leadership of design and construction offices - co-operating with partners in developing countries
- Push-Through of Quality Workmanship - Construction Projects in Developing Countries –

- Durchsetzung von erdbebensicherem Wohnungsbau in Entwicklungsländern - CAD-Planungs- und CAM-Fertigungsprozesse
- Innovation der Kleinbetriebe des Metallbaus
- Computergestützte Methode für das Entwerfen von Tragkonstruktionen
- Detailing of Steel Structures - Scientific Product Development of Joints and Components -
- On the Numerical Simulation of Friction-Isolated Structures
- Application of Innovative Product Development in Developing Countries
- Product Development of Earthquake-Safe Houses and Schools
- Programmtechnischer Ansatz für Effizienz und Verständlichkeit von Bausoftware in weltweiten Netzen
- Erschwinglicher, erdbebensicherer Wohnungsbau in Entwicklungsländern
- Theoretische Methoden für systematisches Konstruieren
- Technology Transfer to Developing Countries - Case Study: Innovative Steel Construction Enterprise -

Das hier vorgestellte Konzept, durch eine wissenschaftliche Forschungsgruppe am Lehr- und Forschungsgebiet Bauinformatik der BUW kompetente Personalressourcen für Entwicklungsländer und insbesondere für die experimentelle Verifikation auszubilden, darf somit als personalstark angesehen werden. Eine Auswahlmöglichkeit geeigneter Persönlichkeiten, bewährt durch experimentellen Nachweis, war zu erwarten.

Der frühzeitig für die Unternehmensnachfolge vom Begabungsprofil und bisherigen Studienerfolg her geeignet erscheinende, jüngste Bruder des lokalen Unternehmers entwickelte sich vielversprechend. Für sein englischsprachiges Bauingenieur-Aufbaustudium an der Ruhr-Universität Bochum hatte ihm der deutsche Unternehmer ein Stipendium der Friedrich-Ebert-Stiftung erwirken können. Dieses Masterstudium absolvierte er als Jahrgangsbester. Anschließend wurde ein FES-Promotionsstipendium gewährt, das in Wuppertal die fachliche Grundlage für eine Unternehmensnachfolge legen sollte. Die Bergische Universität Wuppertal ist auf dem Gebiet der Unternehmensgründungen durch Absolventen deutschlandweit führend. Nach rascher Einarbeitung in das Thema in Wuppertal erhielt der Doktorand an einer anderen Universität ein finanziell reizvolleres Angebot und verließ ohne weitere Erklärung

die Wuppertaler Forschungsgruppe. Prognosen über den langfristigen Erfolg des Projekts sind deshalb eher zurückhaltend.

Parallel zu diesen Forschungsvorhaben von Doktoranden wurden im Rahmen von Projekten des Deutschen Akademischen Austauschdienstes DAAD Weiterbildungsvorhaben konzipiert. Praxiserfahrene Stahlbau-Konstrukteure von akademischem Niveau aus Entwicklungsländern durften in deutschen Ingenieurbüros hospitieren, wissenschaftlich begleitet durch die Forschungsgruppe Bauinformatik der BUW.

Komplementär zur Ausbildung des akademischen Personals wurde die Ausbildung der Werker konzipiert, insbesondere der Schweißer, denn für Blechschweißkonstruktionen sind sie entscheidend.



Bild 6.4-1: Ausbildung von lokalen Schweißern durch Doktoranden der BUW

Quelle: Verfasser

Der damalige Doktorand Wilhelm Fischer [6-1], Schweißfachingenieur und Inhaber einer Metallbaufirma mit 15 Mitarbeitern in Illertissen (Allgäu), schulte vor Ort zwei Wochen lang die Gruppe der Schweißer gemeinsam mit dem Verfasser, Bild 6.4-1. Diese Schweißer stammten aus einer Familie. Sie waren bisher nur vom Vater als Schweißer angelernt. Handwerklich geschickt, waren sie jedoch nicht fachlich. In Form sportlichen Wettbewerbs, den der Verfasser als Akteur und Übersetzer gestaltete, wurde erstes Verständnis der Schweißer für den Schweißprozess geweckt. Durch Schweißproben bewiesen, waren die Ergebnisse der deutschen Schweißer von einwandfreier Qualität. Die Ergebnisse der lokalen Schweißer wiesen unzulässige Mängel auf. Die Fehlerursachen wurden auf nachvollziehbarem Niveau erläutert.

So trainierten die iranischen Schweißer abends weiter, um am nächsten Tag möglichst mit ebenso guten Ergebnissen zu glänzen, wie die beiden deutschen Kollegen. Zusätzlich wurden Stellwände angefertigt, um die Schweißerplätze gegen Wind abzuschirmen, der das Schutzgas verblasen hatte und dadurch Nahtfehler verursachte. Warum in großer Höhe auf Baustellen ohne Windschutz die Montagenähte bei Schutzgasschweißung misslingen müssen, wurde den lokalen Schweißern einsichtig. Die so fachkompetent ausgebildeten Schweißer waren später nicht bereit, im zwei Fahrstunden entfernten, neuen Werk zu arbeiten. Dies war vorauszusehen und wurde vom Verfasser sowie dem deutschen Unternehmer eindringlich angemahnt. Allein, der iranische Unternehmer hatte sich bereits mit dem Kauf des Grundstücks finanziell engagiert, so dass vollendete Tatsachen geschaffen waren.

Sozialwesen kann loyales Verhalten der Mitarbeiter und Werker fördern. Flankierend werden deshalb folgende, für Entwicklungsländer ungewöhnliche Ansätze des Sozialwesens vorgeschlagen:

Investition in eine gut durchlüftete, dem Werk räumlich angegliederte Toilette mit Duschen eigens für die Werker in vorbildlicher Ausstattung und täglicher Pflege, ein eigener Ess- und Gebetsraum im benachbarten Bürogebäude sowie ein Werkbus für die täglichen Fahrten zum Arbeitsplatz. Auch ein Versuch, die Werker mit Sicherheitsschuhen, Schutzbrillen, Handschuhen, Komforthelmen für Schweißer etc. auszustatten, sollte gewagt werden. Es ist zu erwarten, dass derartiges als unpraktisch abgelehnt und nicht benutzt wird. Vorsorglich sind relevante Versicherungen zugunsten der Mitarbeiter abzuschließen. Um Unfallgefahren unabhängig vom Personalverhalten drastisch zu reduzieren, dienen daher die in dieser Arbeit entwickelten Flurförderereinrichtungen. Adaptierter Technologietransfer mit immanent sicherer Technik erübrigt somit einen Mentalitätswandel des Personals, der im besten Falle nach Änderung des Ausbildungssystems in den kommenden Generationen machbar werden könnte.

Loyale, fachkompetente Mitarbeiter, im Voraus mitdenkend und geistig offen für Innovationen weit über dem Niveau von Mitbewerbern, werden auch bei gelungenem Technologietransfer und entsprechender, fortlaufender Weiterbildung aller Mitarbeiter der entscheidende Motor im Alltagsleben unter Bedingungen eines Entwicklungslandes sein.

Von Mitarbeiterbeteiligung wird grundsätzlich abgeraten. Ein Missbrauch ohne Rücksicht auf das Gedeihen des Unternehmens ist wahrscheinlich. Erste Schritte eines Sozialwesens sind demgegenüber vordringlich.

Heikle landesspezifische Personalprobleme werden bei der experimentellen Verifizierung ad-hoc zu lösen sein. Kapitel 7 schildert auch die bei der experimentellen Verifizierung erzielten Ergebnisse im Personalwesen, seien es Erfolg oder Misserfolg.

## 7 Experimenteller Nachweis

Ingenieurwissenschaftliche Forschung zeichnet aus, dass aufgestellte Theorien sich durch experimentellen Nachweis bestätigen oder verwerfen lassen. Experimentelle Nachweise geben Aufschluss darüber, ob die Einflussfaktoren erkannt wurden sowie welche Einflussfaktoren vernachlässigbar sind und welche nicht. Die Genialität mancher Theorie liegt gerade darin, dass durch Verzicht auf vernachlässigbare Größen die Theorie sich so vereinfacht, dass sie für praktische Alltagsanwendung „auf der sicheren Seite“ geeignet wird. Andererseits zeigen experimentelle Nachweise aber auch auf, wenn nicht vernachlässigbare Einflussgrößen unerkannt geblieben sind und somit die Theorie keine hinreichend genaue Vorausberechnung gestattet, also unbrauchbar ist. Letztlich dadurch sind wissenschaftliche Erkenntnisse im Ingenieurwesen so zuverlässig, dass sie in Zulassungen und Normen allgemein verwendet werden dürfen.

Insbesondere auf den Feldern dieser Arbeit ist der experimentelle Nachweis wegen einer kaum überschaubaren Vielzahl technischer und nicht-technischer Einflussfaktoren die einzige Möglichkeit, die allgemeine Gültigkeit eines Ansatzes beweisen zu können bzw. den Ansatz verwerfen zu müssen. Auf Feldern, die innovativ und somit arm an wissenschaftlicher Literatur sind, also auch neuartig für Doktoranden und Doktorväter, sind Experimente vorab zwingend notwendig. Wie sonst sollte die elementare Erfahrungsbasis für das Problem und die zu erarbeitende Problemlösung gewonnen werden?

Auch für experimentelle Nachweise ist wissenschaftliche Methodik einzuhalten, sonst sind sie wertlos, ungültig. Daher wurden auch in den vorigen Kapiteln die realen Randbedingungen des Nachweises in Entwicklungsländern veranschaulicht und erörtert.

Im folgenden Kapitel 7.1 wird zunächst die Gesamtsicht „Effizientes, sicheres Bauen in Entwicklungsländern“ der miteinander verzahnten Themen untersucht, die flankierend von weiteren Doktoranden der Wuppertaler Forschungsgruppe aus Entwicklungsländern behandelt wurden. Dann folgen die Nachweise zum Kern dieser Arbeit.

## 7.1 Verifizierung der Gesamtkonzeption im Forscherteam

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Theorie zur spezifisch für Entwicklungsländer geeigneten Gesamtkonzeption von Stahlbau-Unternehmen mit sicherer, effizienter Produktionstechnik vorgestellt. Der thematische Umfang überschreitet den engeren Rahmen dieser Arbeit. Flankierende Arbeiten dienten deshalb zur umfassenderen Klärung, wobei unter den in Kapitel 6.4 genannten 15 Themen letztlich die folgenden drei von direktem Einfluss auf diese Arbeit sind:

1. Berechnung, Bemessung und Detaillierung für innovativen Stahlbau in Entwicklungsländern
2. System-Leadership of design and construction offices - co-operating with partners in developing countries
3. Push-Through of Quality Workmanship - Construction Projects in Developing Countries –

Bei Themen dieses Charakters ist die Gültigkeit und Brauchbarkeit des ingenieurwissenschaftlichen Ansatzes zwingend experimentell nachzuweisen. Zuvor sind im realen Experiment die erforderlichen, elementaren Praxiskenntnisse zu den neuartigen, innovativen Methoden zu erarbeiten.

Diese Grundkenntnisse konnten hier in idealer Weise anhand eigener, dem jeweiligen Thema entsprechender Beteiligung am Bau eines neuen Stahlbauwerks in einem Entwicklungsland unter realen Praxisbedingungen erarbeitet werden:

Dem Wuppertaler Forscherteam wurde die Systemführerschaft mit Planung und Baubegleitung/Qualitätssicherung des in Kapitel 6.3 konzipierten Werkes übertragen. Das Stahltragwerk der beiden Werkshallen einfacher, systematisierter Bauart war prüffähig auf europäischem Niveau nach Eurocode zu berechnen und zu bemessen. Zusätzlich war die Übereinstimmung mit Entwicklungsland-Normen nachzuweisen, um die Baugenehmigung der lokalen Prüfer zu erreichen. Diese Aufgabe, Berechnung und Bemessung einer typischen Halle, ist an deutschen Fachhochschulen und Universitäten eine übliche Studienarbeit im Master-Studium. Von Doktoranden aus Entwicklungsländern dürfen jedoch keine hinreichenden Vorkenntnisse erwartet werden, sie wollen erst erarbeitet sein. Ob das Team die elementaren Grundkenntnisse und –Fähigkeiten nach vorgegebenen zwei Monaten erfolgreich erarbeitet hatte, sollte berufstypisch durch einen dem Projekt gewogenen Prüferingenieur für Stahlbau beurteilt werden. Mitarbeiter und Lehrstuhlinhaber zweier Stahlbau-Lehrstühle und mehrere Büroinhaber gaben dem Team fundierte Hinweise. Nach fünf statt zwei Mo-

naten erreichten die Ergebnisse des Teams den wohlwollenden Prüfer. Dieser musste bedauernd die Unterlagen als nicht prüffähig zurückgeben. Der Prüfer im Entwicklungsland beanstandete lediglich fünfzehn elementare Mängel. Systemführerschaft, Sachbearbeitung auf europäischem Niveau und Durchsetzung von Wertarbeit durch die Doktoranden aus einem Entwicklungsland war trotz fünfmonatiger Dauer vollumfänglich gescheitert.

Naturgemäß liegen die Gründe eines solchen Fehlschlags im Personalbereich. Sie zu analysieren und daraufhin Empfehlungen für die Auswahl und die Betreuung von Doktoranden aus Entwicklungsländern in Ingenieurwissenschaften zu geben, wäre ein lohnendes, hochinteressantes Thema.

Das Werk zur experimentellen Verifizierung wurde dennoch gebaut, halb so groß wie ursprünglich geplant und von Weitem passabel aussehend, Bild 7.1-1.



Bild 7.1-1: Werkshallen und Bürogebäude im Entwicklungsland  
Quelle: Verfasser

Die Werkshallen und der Bürobau sollten ursprünglich, ähnlich wie bei den eigenen Gebäuden der deutschen Vorbild-Unternehmen, Qualität und Attraktivität der Ausführung beweisen, sich also demonstrativ von lokalen Wettbewerbern unterscheiden. Durch die eigenen Bauten als lebendiges Beispiel attraktiver Architektur, Effizienz und Sicherheit lassen sich im Marketing Interessenten als Kunden gewinnen: Nach einem Besuch des Vorzeigewerks wollen sie für ihr Bauvorhaben ein ebenso begeistertes Ergebnis geliefert haben. Das Ziel attraktiver Architektur wurde nur relativ zum Üblichen in Entwicklungsländern erreicht, da die Wuppertaler Entwürfe vor Ort eigenmächtig ohne Rückmeldung geändert wurden. Systemführerschaft und Sicherung von Qualitätsarbeit hatten eben nicht stattgefunden.

Vor dem Hintergrund einer Intensivausbildung in Wuppertal an leicht einsehbaren Praxisbeispielen aus dem eigenen Erfahrungsbereich der Doktoranden belegt dieses

Scheitern ein kulturelles Problem von Ingenieurarbeiten in Entwicklungsländern allgemein. Anhand des Lehrbeispiels der Intensivausbildung sei dies erläutert:

Ein praxiserfahrener Statiker und CAD-Ingenieur aus einem Entwicklungsland war für mehrere Jahre im o. g. Forscherteam an der BUW. Er war stolz auf seine Konstruktion einer Schulsporthalle, für die er zuvor im Entwicklungsland als Statiker verantwortlich war, Bild 7.1-2.



Bild 7.1-2: Schulsporthalle im Entwicklungsland, ausgeführtes Lehrbeispiel  
Quelle: Pegels, G. [7-2]

Dieses ausgeführte Praxisbeispiel wurde ausgewählt, um mit frischer Erinnerung des Doktoranden an die von ihm gewählten Lösungen die alternativen konstruktiven Verbesserungen hinsichtlich Effizienz und Sicherheit gemeinsam zu erarbeiten. Ziel waren Veröffentlichungen, die den iranischen Stand der Technik dem deutschen Stand gegenüber stellten [7-1 und 7-2]. Anlass war die „7<sup>th</sup> International Industrial Engineering Conference IIEC 2010“ der Isfahan University of Technology IUT.

Die Lehre an Universitäten in Entwicklungsländern versetzt selbst Studierende wirtschaftlich orientierter Studienrichtungen nicht in die Lage, wirklichkeitskonforme Fertigungs- und Montagekosten des Endprodukts zu berechnen, geschweige denn die Folgekosten. Ohne zutreffende Kostenberechnung aber ist optimierte Produktentwicklung ausgeschlossen. Zeitaufnahmen zur Ermittlung von Vorgabezeiten, Maschinenstundensätze etc. werden bestenfalls in der Vorlesung erwähnt, jedoch nicht geübt. Man spart sich in der Baupraxis den Aufwand zutreffender Vorkalkulation und berechnet verbindliche Angebotspreise nach der Formel: Gewicht des Stahltragwerks mal üblicher Tonnenpreis.

In der o. g. Intensivausbildung wurde deshalb untersucht, welche unnötigen Kosten beim Bau der in Bild 7.1-2 dargestellten Schulsporthalle mit etwas Nachdenken und Fachkenntnis hätten vermieden werden können. Selbstverständlich sollte dabei die Konstruktion auch eleganter und sicher werden.

Auf den ersten Blick handelt es sich um eine attraktiv gestaltete Halle mit einem Tonnendach, das mit Trapezblech eingedeckt wurde. Bei näherer Betrachtung fällt dann auf, dass in allen acht Dachbindern der verrippte Stirnplattenstoß nahe des linken Drittelpunkts überflüssig ist. Er macht keinerlei Sinn, aber erhebliche Kosten durch die Arbeitsgänge Brennen, Bohren, Heften, Schweißen und Montieren sowie „Repair-on-site“ wegen fehlender Maßhaltigkeit und Deformationen infolge rauen Transports und Abladens. Der Doktorand verteidigte seine Lösung mit dem Hinweis, dass die Konturbleche der drei kreisförmigen Stegsegmente wegen der verfügbaren Brennschneidmaschine nicht in genügender Länge hätten gebrannt werden können. Diese Schutzbehauptung ist leicht zu entlarven, denn das mittlere Segment des ebenfalls auf dieser Brennschneidmaschine hergestellten Binderstegs ist länger als die halbe Hallenspannweite. Zwei statt drei Bindersegmente wären also mit den vorhandenen Ressourcen möglich gewesen. Die Chance einer kostengünstigeren, sicheren Ausführung mit drei statt vier Anschlüssen wurde aus Gedankenlosigkeit vertan. Auch alle Steifen in den acht Bindern wären entbehrlich, wenn man denn deren Erfordernis statisch geprüft bzw. das Fachkönnen dazu hätte. Bei 300 € für die Statik könne man nicht mehr verlangen, war der Kurzkommentar des Statikers.



Bild 7.1-3: Knick im Montagestoß von Druckstäben  
Quelle: Pegels, G. [7-2]

Alle Druckstäbe der Schulsporthalle wurden nicht direkt an die Binder angeschlossen, sondern beidseitig mit einem Stirnplattenstoß an Stummel, ähnlich teuer wie bei der Column-Tree Bauweise. Das verdoppelt die Anzahl der Anbauteile und Schweißnähte. Die am dünnen Blechsteg der Binder angeschweißten, meterlangen Stummel hatten den rauen Transport mit bleibenden Schrägstellungen knapp überlebt. Nur teilweise gerichtet, blieben Knicke im Druckstab, die die Tragfähigkeit grob halbieren - in der Statik unbeachtet.



Bild 7.1-4: Rahmenecke im Entwicklungsland, Auffälligkeiten  
Quelle: Pegels G. [7-2]

Die „phantasievolle“ Gestaltung der Rahmenecken, Bild 7.1-4, ähnlich dem bereits diskutierten Musterbeispiel der iranischen Baunorm, bedarf keines weiteren Kommentars. Obendrein fehlen einige Schrauben, da sie nicht durchzustecken waren.

Die Gedankenlosigkeit, mit der Bauwerke in Entwicklungsländern unnötig verteuert werden, ist für wettbewerbsgeprägte Ingenieure in Europa unvorstellbar, dort aber völlig normal. Weder Bauherr, noch Architekt, Statiker, Stahlbauer oder Monteur denken über Fertigungs- und Montagekosten nach. Selbst in [7-1] ist nicht zu erkennen, dass ein Umdenken durch Ausbildung in Wuppertal angestoßen worden wäre, wie der Vergleich mit [7-2] belegt.

Um das Ausmaß des Desinteresses an kostengünstigen Lösungen zu verdeutlichen, sei Bild 7.1-5 näher betrachtet.

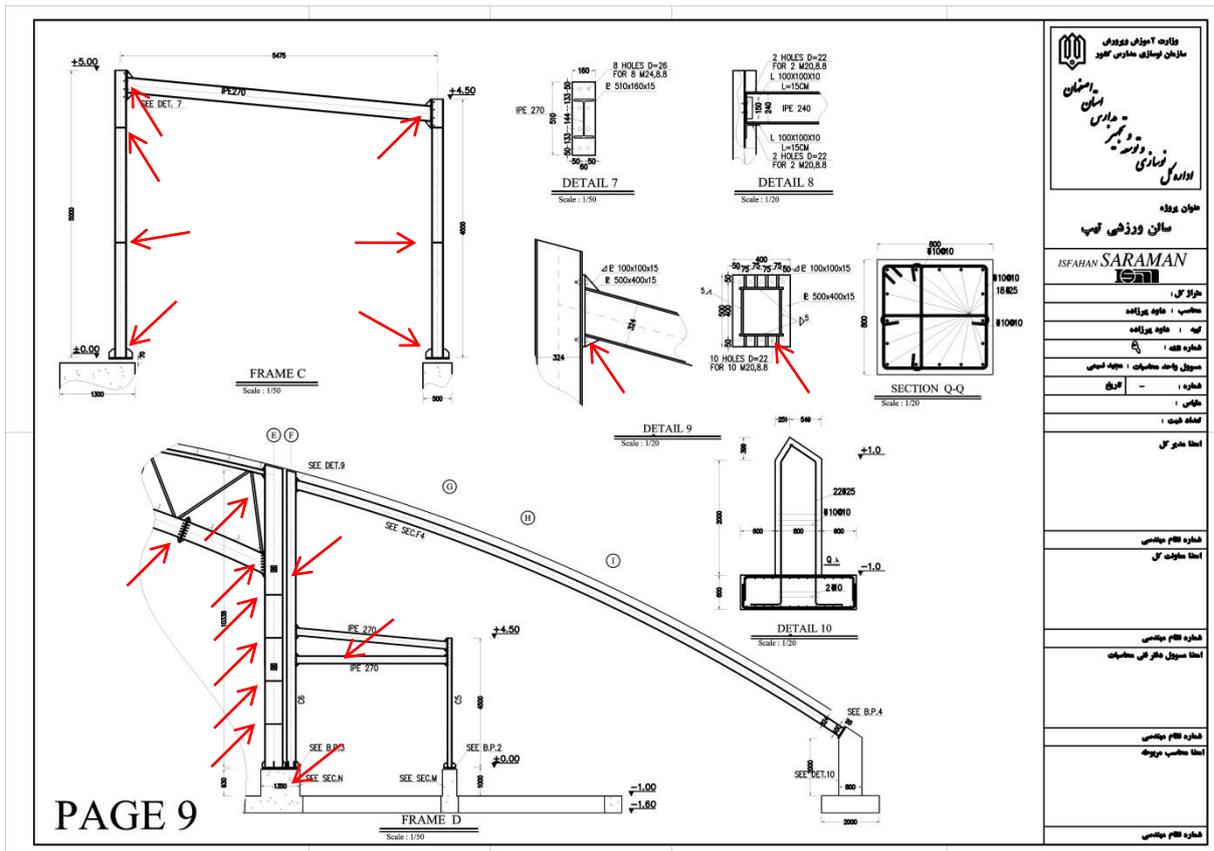


Bild 7.1-5: Überflüssige, kostenträchtige Konstruktionselemente  
Quelle: SARAMAN Isfahan

Bild 7.1-5 stellt den schwungvollen Eingangsvorbau der Sporthalle dar, wobei rote Pfeile auf die „Brennpunkte“ des Geldverbrennens hinweisen. Statt diesen Vorbau direkt an die vorhandenen Stützen der Haupthalle anzuschließen, wurden parallel zusätzliche Stützen aufgestellt und die Fundamente entsprechend verbreitert. Diese Stützen und Fundamentverbreiterungen sind überflüssig. Sämtliche Verrippungen in den Hauptstützen und den Anschlüssen Detail 7 und 9 sind ebenfalls überflüssig. Detail 7 enthält einen Zeichnungsfehler, denn die in der Hauptansicht vorhandenen Steifen fehlen hier. Der horizontale Träger IPE270 ist überflüssig, da der darüber liegende Pultdachbinder IPE270 die Funktion bereits erfüllt. Der überflüssige Stirnplattenstoß in den acht gebogenen Hallenbindern wurde bereits erörtert. Das über dem Binder angeordnete, architektonisch gewünschte Fachwerk ist im letzten Feld rechts höchst unglücklich angeschlossen. Die letzte, fast senkrecht stehende Fachwerkdiaagonale sollte deshalb weggelassen werden, ausgeglichen durch Verschiebung des oberen Endpunktes der vorletzten Diagonale zum Stirnplattenanschluss des Obergurts hin. Sämtliche Verrippungen in Frame C sind überflüssig, eventuell ist dann die Fußplattendicke zu erhöhen.

Das hier erörterte, ausgeführte Bauwerk der Sporthalle wurde unter den besseren, weniger kritikwürdigen Fällen ausgewählt, um keinen Vorwurf von tendenziöser Vorgehensweise aufkommen zu lassen.

Beunruhigend häufig sind weit gedankenlosere Details in Entwicklungsländern zu finden, siehe Bild 7.1-6. Hier sind die Bohrungen so dicht an der Rippe, dass die Schrauben der Verbindung keinen Platz mehr haben werden, die Verbindung also unmöglich ist. Dieser schwerwiegende Fehler wurde keineswegs direkt am CAD-Bildschirm oder nach Fertigstellung des ersten Exemplars im Werk entdeckt. Erst nach Fertigung der vollständigen Serie konnte der Verfasser auf das Problem aufmerksam machen, dass die versandfertigen Bauteile nicht montierbar sind. Das Problem wurde der Nacharbeit auf der Baustelle überlassen: Potential für mehr Effizienz und Sicherheit ist in Entwicklungsländern fast unbegrenzt.



Bild 7.1-6: Serienanschluss mit nicht montierbarem Schraubenbild  
Quelle: Verfasser

Auch das unter Wuppertaler Systemführerschaft geplante Werk ist im Detail erschreckend dilettantisch ausgeführt, also kein Vorzeigebispiel für Effizienz und Sicherheit. Folgende Beispiele belegen diesen gefährlichen Missstand:

In Entwicklungsland-Bauzeichnungen wird beispielsweise die Hallenspannweite von Stützenmitte zu Stützenmitte gemessen, in europäischen Bauzeichnungen hingegen von den Außenkanten der Stahlstützen, AK-Stahl genannt. Dies ist sinnvoll, um eine präzise Maßreferenz zwischen den Gewerken „Stahltragwerk“ und „Fassade“ sicher zu stellen, die Toleranzkonflikte ausschließt. Die Stützenfundamente der Anlieferungshalle wurden denn auch korrekt entsprechend den CAD-Zeichnungen betoniert und mit Ankern versehen. Die Stützen-Anker der Fertigungshallen wurden dann allerdings in der irrigen Annahme, bei der bemaßten Hallenspannweite handele sich um den Abstand von Stützenmitte zu Stützenmitte, mittig zu AK-Stahl betoniert. Der Abstand der Fundamente inkl. Ankern war dadurch zu breit, hier 28 Zentimeter. Dieses Maß liegt weit außerhalb des planmäßigen Lochspiels zum Ausgleich von Toleranzen im Fußpunkt von Stützen. Das fiel aber erst beim Montieren der Hallenrahmen auf. Alle Stützen standen nach innen schief und der Kopfplattenstoß im First offenbarte eine Keilfuge. Selbstverständlich waren also als Nachbesserung die Ankerbohrungen in jeder Stützen-Fußplatte um 14 cm nach außen zu versetzen, damit die Halle die geplante Spannweite erhält. Stattdessen wurden jedoch ohne Rückmeldung/Genehmigung für jeden Firstpunkt Zwischenstücke von 28 cm als Nachbesserung gefertigt und eingebaut, siehe Bild 7.1-7.



Bild 7.1-7: First-Zwischenstück mit Folgefehlern für das gesamte Tragwerk

Quelle: SARAMAN Isfahan

Wie leicht zu erkennen, ist ein Zwischenstück im First die schlechteste aller möglichen „Korrekturen“, denn so wird die Hallenspannweite um 28 cm größer als geplant. Alle von der Spannweite abhängenden, korrekt gefertigten Bauteile, z. B. der

Brückenkran der Halle, passen dann nicht mehr. Sie wurden durch Nachbesserung von den Monteuren gewaltsam passend gemacht: „On-Site Reworks“.

Solche Fehler sind lediglich kostspielig, die folgenden Fehler aber obendrein gefährlich. Die vorbildlich mit DSTV-Stirnplatten konstruierten Rahmenecken waren mit korrekt über Drehmomentschlüssel vorgespannten HV-Schrauben montiert, bis auf eine Rahmenecke. Dort fehlte noch Monate nach der Inbetriebnahme des Werks auf der Zugseite der Stirnplatten eine HV-Schraube, das Bohrloch war leer.

Dies gilt analog für ein in der Hallenecke verstecktes Anschlussblech des Dachverbands, Bild 7.1-8.



Bild 7.1-8: Lebensgefährliche „Nacharbeit“ an einem Dachverband  
Quelle: Verfasser

Mehrmals wurde hier unfachmännisch versucht, das Rundeisen des Dachverbandes an das Anschlussblech „anzuheften“. Dieses hatte ursprünglich einen Schlitz, in den das Rundeisen statisch hinreichend mit vier Nähten bündig eingeschweißt wurde. Wegen des Fehlers in der Hallenspannweite war das Rundeisen des Verbandes aber zu kurz. Es wurde also bis auf den in Bild 7.1-8 sichtbaren Stummel abgeschnitten. Oben auf diesen Stummel wurde dann ein endlich in der Länge passendes Rundeisen geheftet. In jedem Fall versagt diese „Lösung“ unter Bemessungslast, die Halle ist also einsturzgefährdet. Der deutsche Unternehmer erzwang ein Auswechseln gegen korrekte Verbände.

Auch die gesamte, aus Trapezblechen bestehende Dacheindeckung ist einsturzgefährdet. Die Halle dürfte nicht betreten werden, bis Schnee vom Dach geräumt ist. Die Trapezbleche des Daches der Fertigungshalle wurden nämlich zur Montage auf

den Bindern der Rahmen in ca. neun Metern Höhe gelagert (Bild 7.1-9), bis nachts einer der Wüstenstürme auftrat.



Bild 7.1-9: Dacheindeckung vor dem Absturz durch Wüstensturm  
Quelle: SARAMAN Isfahan

Alle unbefestigt auf den Dachbindern gelagerten Trapezbleche (Bild 7.1-9) stürzten folglich aus dieser Höhe ab, so dass sie beim Aufschlag bleibend beulten und knitterten. Statt sie als Schrott zu entsorgen, wurden sie in den nächsten Tagen wieder auf den Bindern aufgelegt und mit selbstschneidenden Schrauben befestigt. Mit geübtem Auge ist das Knittern aller Trapezbleche in Bild 7.1-10 trotz schlechter Bildqualität zu erkennen.

Systemführerschaft und Qualitätssicherung versagten, wie die erörterten Fehler belegen. Es waren keinerlei Vorkehrungen gegen derartige, zu erwartende Baufehler getroffen worden. Vorausdenken war nicht zu beobachten.



Bild 7.1-10: Unzulässige Dacheindeckung, Knittern und Beulen der Trapezbleche  
Quelle: Verfasser

Das angestrebte Alleinstellungsmerkmal, Interessenten anhand der innovativen Werkshallen vorbildlich ästhetische, fehlerfreie, effiziente und sichere Lösungen überzeugend demonstrieren zu können, wurde somit im experimentellen Nachweis des Forscherteams verfehlt. Die massiven Mängel der Vorzeigehallen konterkarieren jegliche Werbewirkung. Im Gegenteil, die Gebäude stellen eine Sammlung landesüblicher Baumängel dar, lediglich die Entfeinerungen sind auf europäischem Niveau.

Für Ingenieure aus entwickelten Ländern ist das in Entwicklungsländern herrschende Maß an Verantwortungslosigkeit auf allen Ebenen unvorstellbar, nicht nur auf dem Gebiet der Arbeitssicherheit.

Ob und wie in Entwicklungsländern den dort Tätigen die leider typischen Fehlermöglichkeiten durch eine CAD/CAM/CNC-Prozesskette systematisch und konsequent entzogen werden können, zeigen die folgenden Kapitel des experimentellen Nachweises über „Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern“.

## **7.2 Inbetriebnahme eines Muster-Werks für Entwicklungsländer**

Zur Inbetriebnahme von Werken in Entwicklungsländern werden allgemeingültige Regeln und Empfehlungen erarbeitet. Am folgenden Fallbeispiel hergeleitet, werden sie am Schluss des Kapitels zusammengefasst. Besonders dann, wenn ein Werk mit Komponenten aus entwickelten Ländern ausgerüstet wird, was typisch ist, sind die Empfehlungen von wesentlicher Bedeutung für Gelingen oder Scheitern des Projekts.

Die ursprünglich konzipierten, günstigen Randbedingungen des geplanten Muster-Werks hatten sich ab 2007 verändert. Der Not der Wirtschaftslage im Land gehorchend, besteht das Unternehmen des experimentellen Nachweises nur noch aus acht Mitarbeitern für technische und kaufmännische Aufgaben sowie zwei Werkern inkl. Werksleiter. Alle verbleibenden Arbeiten werden an im Werk arbeitende Subunternehmer vergeben, typisch für Entwicklungsländer. Die acht Büromitarbeiter arbeiten in einem baulich anspruchsvollen Büro in bevorzugter Lage Isfahans, die beiden Werker im weit entfernten Werk. Das Büro wird von einem Bruder des lokalen Unternehmers günstig zur Verfügung gestellt, ebenso ein Appartement für Gäste. Die leitenden Personen des Büros haben an drei Tagen in der Woche Vorlesungen und Laborpraktika in der Universität zu geben. Es bleiben nur zwei Arbeitstage pro Woche, das Werk zu besuchen, Fahrzeit insgesamt über zwei Stunden. Die beiden Werker sind daher zumeist mit den Subunternehmern allein, ohne jede fachliche Anleitung und Aufsicht.

Die räumliche Nähe von Büro und Werk der deutschen Vorbildunternehmen war für diese, wie in Kapitel 5.3 begründet, ein entscheidender Erfolgsfaktor.

Die Inbetriebnahme des Werks verzögerte sich um ein Jahr durch eine für Unternehmer aus Entwicklungsländern typische Fehlentscheidung zur Wahl der Größe des CNC-Blechbearbeitungszentrums, Bild 7.2-1.

Der Verfasser hatte zwar eine solide Basis für eine sachgerechte Entscheidung erarbeitet, welche Arbeitsbereiche und Spezifikationen die für Blechbearbeitung wichtigste Maschine besitzen muss. Die statistischen Analysen zu benötigten Arbeitsbreiten, Bohrdurchmessern und Schneidleistungen der bisherigen Bauprojekte blieben aber bei der Entscheidung unberücksichtigt: Ein kleines CNC-Zentrum von 600 mm Arbeitsbreite hätte ausgereicht. Kein Blechteil aller bisher gefertigten Aufträge entsprechend dem angestrebten Produktspektrum, Kapitel 6.2, war breiter als 600 mm. Mehrere auf den heutigen Stand der Technik aufgerüstete CNC-Zentren mit einer Ar-

beitsbreite von 600 mm waren preisgünstig gebraucht verfügbar zu etwa 50.000 €, einschließlich Funktionsgarantie, Software und Inbetriebnahme vor Ort im Entwicklungsland. Das letztlich aber gebraucht von einem deutschen Anwender gekaufte, große und seltene CNC-Blechbearbeitungszentrum, Bild 7.2-1, mit 1500 mm Arbeitsbreite kostete 120.000 € ohne Funktionsgarantie, ohne Software, ohne Schulung und ohne Inbetriebnahme. Ein teurer, zeitraubender, riskanter Fehler, wie sich herausstellte. Das Projekt hätte daran scheitern können, was für Entwicklungsländer allgemein gilt.



Bild 7.2-1: CNC-Blechbearbeitungszentrum, Kern des Muster-Werks  
Quelle: Verfasser

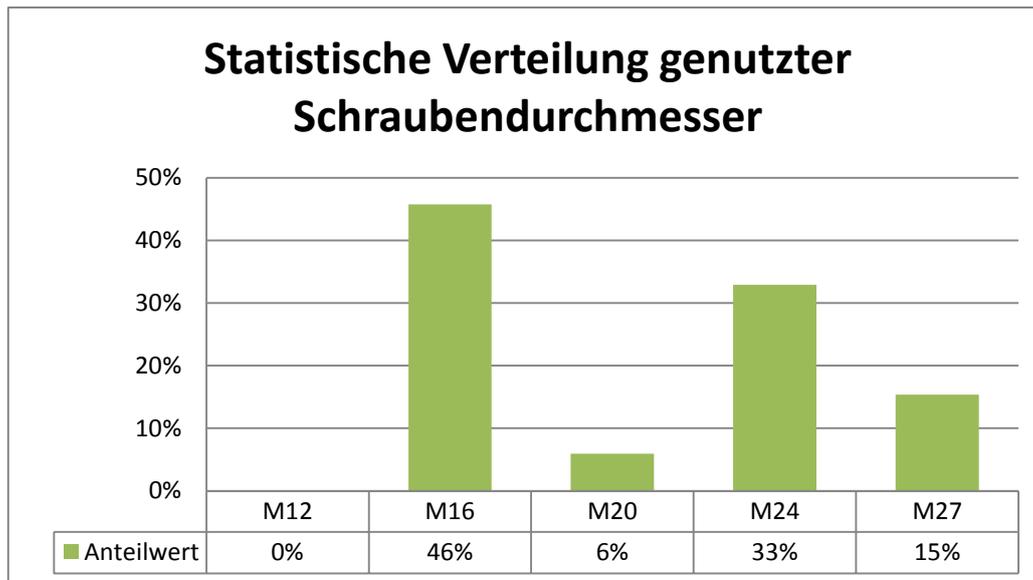
Der lokale Unternehmer bestand auf einer großen Arbeitsbreite von 1500 mm. Standard-Rohbleche würden in dieser Breite geliefert. Das Argument wurde nachgeprüft und erschien stichhaltig. Allerdings ist es fertigungstechnisch sinnvoll und bei langen Teilen sogar zwingend erforderlich, die Rohbleche vorab zu schmaleren Streifen entsprechend tatsächlich für Flansche und Stege benötigter Breiten zu schneiden, also im angestrebten Spektrum Streifen bis zu 600 mm Breite. Bei langen Teilen kann

dies ohne Wärmeverzug nur eine gesonderte Brennschneidanlage mit parallelen, gleichzeitig fahrenden Brennern, Bild 7.2-2. Sie wurde nachträglich beschafft.



Bild 7.2-2: Parallelbrenner zum Autogenschneiden von Blechstreifen  
Quelle: Verfasser

Bei solchen, händisch einzustellenden Maschinen sind menschliche Fehler möglich und werden gemacht. Das CNC-Zentrum weist Teile mit fehlerhaften Abmessungen jedoch ab, da es die Ist-Maße vorab mit den Soll-Maßen der CNC-Daten über Sensoren vergleicht. Es ist in Entwicklungsländern nicht auszuschließen, dass diese lästig erscheinende Kontrolle z. B. durch Manipulation des Breitensensors abgeschaltet wird. Auch ist zu erwarten, dass der Parallelbrenner genutzt wird, das CNC-Zentrum zu umgehen. So gefertigte Teile bleiben dann ohne Körnerpunkte für den passgenauen Zusammenbau und ohne Kontrolle der Abmessungen. Falls nur ein Brenner eingeschaltet wird, können beliebige Blechteile wie gewohnt ineffizient, fehleranfällig und ungenau gefertigt werden. Unter Umgehung des CNC-Zentrums werden Löcher dann wie gewohnt auf einer 50 Jahre alten Radialbohrmaschine gebohrt, die der deutsche Unternehmer deshalb beseitigen will. Die Beibehaltung der in Entwicklungsländern allseits gewohnten ineffizienten und unsicheren Vorgehensweise muss technisch ausgeschlossen werden.



Tab. 7.2-1: Statistik der verwendeten Schraubendurchmesser  
Quelle: Verfasser

Das CNC-Zentrum Bild 7.2-1 besitzt drei Bohraggregate, um Blech-Werkstücke mit bis zu drei verschiedenen Bohrdurchmessern automatisch zu bearbeiten. Tabelle 7.2-1 zeigt, dass nur selten auf fehleranfälligen Bohrerwechsel von Hand zurückzugreifen sein wird. Die drei Aggregate werden also voreingestellt mit üblichem Lochspiel von 2 mm auf Bohrer der Durchmesser 18, 26 und 29 mm. Die verarbeitbaren Blechdicken derartiger CNC-Zentren gehen von 5 bis 40 mm. Diese Restriktionen hält das vorgesehene Produktspektrum ein, siehe Tabelle 7.2-2.

| <b>Blechdicken, Hallen SARAMAN</b> |                     |                 | <b>Blechdicken, Krankenhaus</b> |                     |                 |
|------------------------------------|---------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------|-----------------|
| <i>Dicke [mm]</i>                  | <i>Gewicht [kg]</i> | <i>Anteil %</i> | <i>Dicke [mm]</i>               | <i>Gewicht [kg]</i> | <i>Anteil %</i> |
| BL 5                               | 0                   | 0%              | BL 5                            | 1.082               | 1%              |
| BL 6                               | 14.326              | 8%              | BL 6                            | 55.424              | 5%              |
| BL 8                               | 14.334              | 8%              | BL 8                            | 129.575             | 11%             |
| BL 10                              | 41.953              | 25%             | BL 10                           | 70.317              | 6%              |
| BL 12                              | 6.813               | 4%              | BL 12                           | 107.905             | 9%              |
| BL 15                              | 47.563              | 28%             | BL 15                           | 339.192             | 28%             |
| BL 20                              | 39.024              | 23%             | BL 20                           | 164.454             | 13%             |
| BL 25                              | 2.108               | 1%              | BL 25                           | 322.926             | 26%             |
| BL 30                              | 5.098               | 3%              | BL 30                           | 26.112              | 2%              |
| BL 40                              | 0                   | 0%              | BL 40                           | 11.178              | 1%              |
| <b>Gesamt</b>                      | <b>171.220</b>      |                 | <b>Gesamt</b>                   | <b>1.228.165</b>    |                 |

Tab. 7.2-2: Statistik bisher benötigter Blechdicken  
Quelle: Verfasser

Beide für das Produktspektrum typischen Aufträge der Tabelle 7.2-2 verwendeten also Blechdicken innerhalb des Arbeitsbereichs verfügbarer CNC-Blechbearbeitungszentren. Entsprechend der in Kapitel 6.2 vorgestellten Produktentwicklung werden

zukünftig vermehrt steifenlose Verbindungen das Produktspektrum prägen. Die Vermeidung von Steifen ist z. B. durch Erhöhung der Blechdicke von Kopf- und Fußplatten erreichbar. Die Häufigkeitsverteilung Tabelle 7.2-2 wird sich daher auch in Entwicklungsländern zu höheren Blechdicken hin verschieben, jedoch angesichts des systematisch angestrebten Produktspektrums nach Kapitel 6.2 eine Blechdicke von 40 mm nicht überschreiten.

Die hier anhand bisheriger Aufträge und der zukünftigen Produktstrategie hergeleiteten Maschinen-Spezifikationen erfüllten beide zur Wahl stehenden Größen von CNC-Blechbearbeitungszentren mit 1500 bzw. 600 mm Arbeitsbreite. Das Argument, Rohbleche hätten eine Breite von 1500 mm, folglich sei eine Arbeitsbreite von 1500 mm zwingend, erwies sich fertigungstechnisch als nicht haltbar, wie oben begründet.

Wie kam es dennoch zur Fehlentscheidung, die ein Jahr Verzögerung, verdoppelte Investitionskosten von letztlich 300.000 € und einen unnötig hohen Maschinenstundenkostensatz zur Folge hatte?

Nach der Minimalüberholung durch den Verfasser im Werk des Herstellers sollte das CNC-Zentrum zunächst bei einem Stahlbauunternehmen in Hagen mindestens drei Monate im Alltagseinsatz betrieben werden, um umfassend das Know-how zu einer derart anspruchsvollen Maschine zu gewinnen und gleichzeitig Werker und Ingenieure durch „Training on the Job“ in Deutschland anzulernen. Die besten Fachleute des Herstellers hätten nach 20 Minuten Fahrzeit zur Verfügung gestanden. Auch vollständige Dokumentationen waren noch zu erstellen.

Diese Vorgehensweise mit lückenlosem Funktionsnachweis vorab im entwickelten Land ist immer beim Export einer Hochtechnologie in ein Entwicklungsland einzuhalten. Die Funktion erst im Entwicklungsland herzustellen, ist teuer und wenig aussichtsreich, wie ungenutzt herumstehende CNC-Anlagen in Entwicklungsländern vor Augen führen.

Schon bei der Minimalüberholung offenbarten die Mitarbeiter des Herstellers, diese seltenen Maschinen nicht wirklich zu kennen. Sie lösten durch kostenpflichtiges Ausprobieren einige der durch den Abbau und Transport der gebrauchten Maschine eingetretenen Probleme. Obendrein reichten Druckluft- und Gasversorgung im Herstellerwerk zum Probetrieb nicht aus. Das Hagener Stahlbauunternehmen schwankte, ob bei ihm ein mehrmonatiger Probetrieb im Alltagseinsatz angesichts der Auftragslage machbar war. Letztlich gab der deutsche Unternehmer nach Gründung einer GmbH zur Erledigung aller Embargo-Genehmigungsarbeiten dem Drängen des

lokalen Unternehmers nach und sandte das CNC-Zentrum über Land zum Zollamt Isfahan. Wegen Überhöhe passte die große Maschine nicht in einen LKW-Container und wurde ohne schützende Transporthülle auf einem speziellen Tieflader rund 4000 km über Schlaglochstrecken transportiert. Das Bedienpanel mit der Steuerungselektronik hing danach nur noch an einigen Interfacekabeln, was unabsehbare Folgefehler nach sich zog.

Der Grund der Fehlentscheidung und des unvernünftigen Termindrucks klärte sich dann: Angeblich ging sonst der einzige trotz Embargo-Finanzmangels noch anstehende Staatsauftrag mit gesicherter Finanzierung verloren, die neuen Messehallen Teheran. Es ist ein gewagter Prestigebau der deutschen Architekten gmp, an der Grenze der technischen Machbarkeit. Dieser Prestigeauftrag wurde dann leider gewonnen, da im Gegensatz zu den übrigen Mitbietern ein deutsches CNC-Zentrum geeigneter Leistungsklasse und die Beteiligung deutscher Ingenieure ins Feld geführt wurden. Die bogenförmigen Stegbleche der Kastenträger des Rautennetzes der filigranen Dachkonstruktion ließen sich nur aus 1500 mm breiten Rohblechen schneiden.

Dieser Auftrag stand somit entschieden gegen das in den Kapiteln 6.1 und 6.2 wohlbegründete Konzept dieser Arbeit, Prestigeaufträge absichtsvoll dem Wettbewerb zu überlassen, ohne Ausnahme. Der erteilte Auftrag zum Bau der Messehallen wurde glücklicherweise entzogen, woran der deutsche Unternehmer nicht unbeteiligt war.

Von November 2011 bis April 2012 dauerte der Export des CNC-Zentrums, ein typischer Zeitraum für alle Entwicklungsländer, siehe Kapitel 7.5. Das Zollamt Isfahan blockierte die Freigabe der Maschine und ließ sie gebührenpflichtig auf dem Zollhof im Regen verrosteten. Es beharrte auf dem tariflichen Zoll (40 % auf den Rechnungsbetrag). Allerdings, ein Abgeordneter des Landesparlaments hatte zeitgleich auf Einladung des deutschen Außenministeriums das Forschungsprojekt „Erdbebensicheres Bauen in Entwicklungsländern“ der BUW besucht. Er trug aus Überzeugung der zur problemlosen Zollabfertigung bei.

Der experimentelle Nachweis stand somit vor der Hürde eines funktionsuntüchtigen, verrosteten CNC-Zentrums. Die Elektronik war durchnässt und der auch in der Luftfahrt verwendete Pufferakkumulator der Maschinensteuerung durch Nässe-Kurzschluss vollständig entladen, dadurch irreparabel defekt. Alle gespeicherten Maschinenkonstanten waren somit verloren. Eine verlässliche Dokumentation aus früherer, zehnjähriger Nutzung existierte nicht.

Totalschaden war somit zu befürchten. Runaway-Fehler mit falscher Laufrichtung der tonnenschweren Aggregate bei hoher Geschwindigkeit und schlagartigem Stopp erst an Endschaltern blieben eher zufällig folgenlos. Serien von Fehlern konnten systematisch eingekreist und teilweise behoben werden. Für die offenen Restarbeiten wurde ein Techniker des Herstellers eingeflogen. Er zeigte sich bis auf Entrostungsarbeiten der Aufgabe nicht gewachsen. Der nächste Techniker nahm zumindest das Signiergerät und provisorisch den Autogenbrenner in Betrieb. Jedoch, die korrekte Flughöhe der Brenner über der Blechoberfläche wusste er nicht einzustellen. Dadurch schliff die Zündbacke über das Blech und verformte sich mit bleibender Schiefstellung, Bild 7.2-3.



Bild 7.2-3: Havarie der Zündbacke bei Inbetriebnahme im Entwicklungsland  
Quelle: Verfasser

Angesichts dieses Desasters las der Verfasser die technischen Unterlagen der Maschine und fand so heraus, wie Flughöhe und Zündung korrekt einzustellen sind. Danach funktionierte der Autogenbrenner einwandfrei. Den Hochleistungs-Plasmabrenner nahm der Techniker des Herstellers anschließend allein in Angriff. Der Verfasser wurde ins benachbarte Büro verbannt. Die notwendige Flughöhe stellte der Techniker beim Verfahren des Plasmabrenners auch diesmal nicht ein. Daher also kratzte der Plasmabrenner über das Blech und brach ab, Bild 7.2-4. Mit dem Kommentar, ohne Ersatzteil könne er jetzt sowieso nichts mehr machen, flog er nach Deutschland zurück, ungenehmigt und nicht vertragskonform.



Bild 7.2-4: Havarie des Plasmabrenners, irreparabler Bruch  
Quelle: Verfasser

Der Verfasser führte bei seinem nächsten Besuch des Landes die Reparatur und Inbetriebnahme des Plasmabrenners dann selbst durch. Damit standen alle Aggregate des CNC-Zentrums einsatzreif zum experimentellen Nachweis durch Alltagsproduktion bereit, Totalschaden war knapp vermieden.

Pausen der Inbetriebnahme wurden genutzt, vor Ort die betroffenen Mitarbeiter in der Nutzung der CAM-Programme zur Komplettierung der Fertigungsdaten um Körnerpunkte und Signierung zu schulen. Die Datenübertragung von den CAD-Arbeitsstationen in Isfahan zum CNC-Zentrum im weit entfernten Werk wurde provisorisch eingerichtet und geschult.

Hierbei hat die Inbetriebnahme des Musterwerks mit über zwei Jahren Mehraufwand zur erheblichen Verzögerung dieses Forschungsvorhabens geführt.

Schlussfolgernd aus diesem typischen Fallbeispiel werden folgende Empfehlungen allgemein für den Export von Hochtechnologie-Anlagen in Entwicklungsländer gegeben:

- Die Spezifikationen der zu exportierenden Maschinen müssen vorab bedarfsgerecht, statistisch abgesichert ermittelt werden, um letztlich angemessene Maschinenstundensätze und Maschinenauslastung zu ermöglichen. Prestigedenken lokaler Größen im Entwicklungsland ist konsequent zu wehren.
- Der Durchsatz aller Arbeitsstationen im Fertigungsfluss ist bedarfsgerecht im Voraus wissenschaftlich fundiert zu berechnen und ggf. durch Parallelstationen anzugleichen.
- Seltene, gebrauchte Maschinen sind für Entwicklungsländer ungeeignet, da selbst beim Hersteller nach einigen Jahren entsprechend kompetente Mitarbeiter fehlen. Auch die Beschaffung von Ersatz- und Verschleißteilen wird problematisch oder unmöglich.
- Die lokale Infrastruktur vor Ort mit Strom-, Druckluft-, Gas-, Wasser- und Internet-Anschluss ist vor Versand der Maschine hinsichtlich Existenz und dauerhafter Erreichung der notwendigen Leistungsdaten zuverlässig durch Mitarbeiter des Herstellers zu prüfen, die die vertragsgemäße Bereitstellung der Ressourcen bauseits abnehmen, ebenso wie die korrekten Abmessungen der Maschinenfundamente. Der Versand wird kostenpflichtig mit Einlagerungskosten so lange verschoben, bis die lokale Infrastruktur vollständig bereit steht.
- Vor Versand in das betreffende Entwicklungsland sind Maschinen mehrmonatig im Probebetrieb einzusetzen und der gesamte Leistungsbereich an Alltagsaufgaben nachzuweisen. Mängel sind noch im entwickelten Land vollständig vor Versand zu beheben.
- Der mehrmonatige Probebetrieb dient gleichzeitig der Auswahl und der Vorabschulung mit Prüfung der für den Betrieb im Entwicklungsland vorgesehenen Mitarbeiter im vollen Umfang der CAD/CAM/CNC-Prozesskette, also Werker und Ingenieure. Dadurch ist gesichert, dass derartige Mitarbeiter tatsächlich bereitstehen. Springer sind einzuplanen und auszubilden. Das Grundverständnis zur effizienten, sicheren Nutzung derartiger Prozessketten ist zu vermitteln und zu prüfen: Produktentwicklung mit Ähnlichkeitslösungen, die systematisch zur Bildung der Teilefamilien des entsprechenden CNC-Zentrums führen sowie entsprechende Ergänzung der CAD-Modelle von

Tragwerken um Körnerpunkte für passgenauen Zusammenbau und eindeutige Signierung jedes Werkstücks.

- Transport von Großanlagen ist mit eigenem Begleitpersonal zu überwachen, ebenso nach Ankunft die Lagerung im lokalen Zollamt über die gesamte Dauer.
- Ingenieurbüro und Werk müssen bei Nutzung von CAD/CAM/CNC-Prozessketten direkt benachbart sein. Der Unternehmer soll in der Nähe des Werkes wohnen. Tägliche, konsequente Durchsetzung des Unternehmensziels im Werk ist durch den Unternehmer und seine führenden Mitarbeiter persönlich vorzunehmen.
- Ein eigenes, zu Fachkompetenz ausgebildetes, loyales Mitarbeiterteam ist aufzubauen und zu halten.
- Prestigeaufträge außerhalb des Produktspektrums der Ähnlichkeitslösungen und Teilefamilien, auf die die CAD/CAM/CNC-Prozesskette ausgelegt ist, sind ausnahmslos den Wettbewerbern zu überlassen.

Nun sollte im Werk (Bild 7.1-1) ein großer Auftrag über 300 Tonnen Stahl pro Monat beginnen. Dieser Auftrag wurde allerdings unter der Bedingung erteilt, in Form eines Kundenaudits die Leistungsfähigkeit des Werks für derartige Bauten, hier ein großes Parkhaus, vorab nachzuweisen.

Dazu wollten die kompetenten Auditoren die produktionsreife Funktionstüchtigkeit des CNC-Blechbearbeitungszentrums persönlich in Augenschein nehmen. Dieses Audit und nachfolgend auferlegte Ergänzungen, die das bisher entwickelte Konzept sinnvoll erweiterten, werden deshalb im folgenden Kapitel 7.3 erörtert.

### **7.3 Ergänzungen der Produktionstechnik nach Kundenaudit**

In Entwicklungsländern bewerben sich auch Bauunternehmen um für sie gänzlich ungeeignete Aufträge, so dass die Projekte letztlich scheitern und Anzahlungen (down-payment) verloren gehen. Ministerien führen deshalb Kundenaudits im Werk durch, bevor sie Aufträge erteilen.

Im erörterten Fall waren die Auditoren durch vorherige Besuche bei Wettbewerbern ernüchtert und kritisch eingestellt, aber immerhin fachkundig. Sie hatten bei Wettbewerbern zwar zum Teil zeitgemäße Maschinen gesehen, aber ungenutzt seit Jahren, da die Inbetriebnahme scheiterte und niemand sie bedienen konnte.

Das Alleinstellungsmerkmal für Effizienz und Präzision, das CNC-Blechbearbeitungszentrum, wollten die Auditoren deshalb im Produktionseinsatz sehen. Dies war kurz nachdem der Techniker des Herstellers den Hochleistungs-Plasmabrenner zu Bruch gefahren hatte.

Hilfsweise wurde deshalb zum Kundenaudit der Azetylen-Autogenbrenner des CNC-Zentrums eingesetzt. Der experimentelle Nachweis für die Auditoren wurde dann live an realen Beispielen, geschachtelten Laschen und Kopfplatten, durchgeführt. Das präzise Bohren verschiedener Durchmesser, das Körnen, das Signieren, das Brennen der Kontur und das automatische Ablegen der fertigen Teile beeindruckten die Auditoren. Sie maßen sorgfältig die Position der Bohrungen und die Abmessungen der fertigen Teile nach. Die automatische Schnittfugenkompensation hatte präzise Außenmaße der Teile gesichert, alle Bohrungen und Körnungen waren so exakt, dass auch bei mehrmaligem Messen keine Fehler zu finden waren. Daraufhin nahmen die Auditoren die fertigen Werkstücke als handfeste Dokumentation des Audits mit ins Ministerium.

Ihre Fachkompetenz bewiesen die von da an konstruktiv mitdenkenden Auditoren in der anschließenden Diskussion des Fertigungskonzepts, das auf dieser Arbeit beruht. Sie verlangten, dass die Bauteile vor dem Farbauftrag gesandstrahlt werden, damit die Dauerhaftigkeit des Farbauftrags gewährleistet ist. Sandstrahlen und Farbauftrag sollten an fertigen Bauteilen im Freien erfolgen. Sie ließen sich aber überzeugen, dass das Sandstrahlen der Rohbleche vor der Fertigung – wie in den deutschen Vorbild-Unternehmen - zu wesentlich besseren Ergebnissen führt, als das Strahlen pratziger Bauteile nach dem Zusammenbau. Durch Schattenflächen und Senken, in denen sich Sand sammelt, ist bei pratzigen Bauteilen keine gleichmäßig saubere Oberfläche zu erzielen. Bei dem in führenden deutschen Unternehmen an-

gewandten Prinzip des Vorab-Strahlens muss allerdings die Durchlaufzeit der Werkstücke durch die Fertigung auf etwa drei Tage beschränkt bleiben. Sonst kann sich Flugrost bilden, der die Farbhaftung beeinträchtigt. Diese kurze Durchlaufzeit ist wegen der raschen Fertigbearbeitung im CNC-Zentrum realistisch. Von den Auditoren wurde daher das hier geplante Prinzip des Vorab-Strahlens genehmigt, falls dann der Farbauftrag überdacht und nicht im Freien ausgeführt wird.

Die durch das Audit angestoßenen Ergänzungen der Produktionstechnik waren voll und ganz im Sinne dieser Arbeit. Sie brachten die konzipierte Adaption an Verhältnisse in Entwicklungsländern den deutschen Vorbildunternehmen wieder näher:

Der bisherige Layout-Plan des Werks wurde daher um ein Blechlager mit aufrechter Lagerung (Bild 7.3-1) und eine oben offene Strahlkabine für Rohbleche mit Staubabsaugung über Filter ins Freie erweitert, Bild 7.3-2.

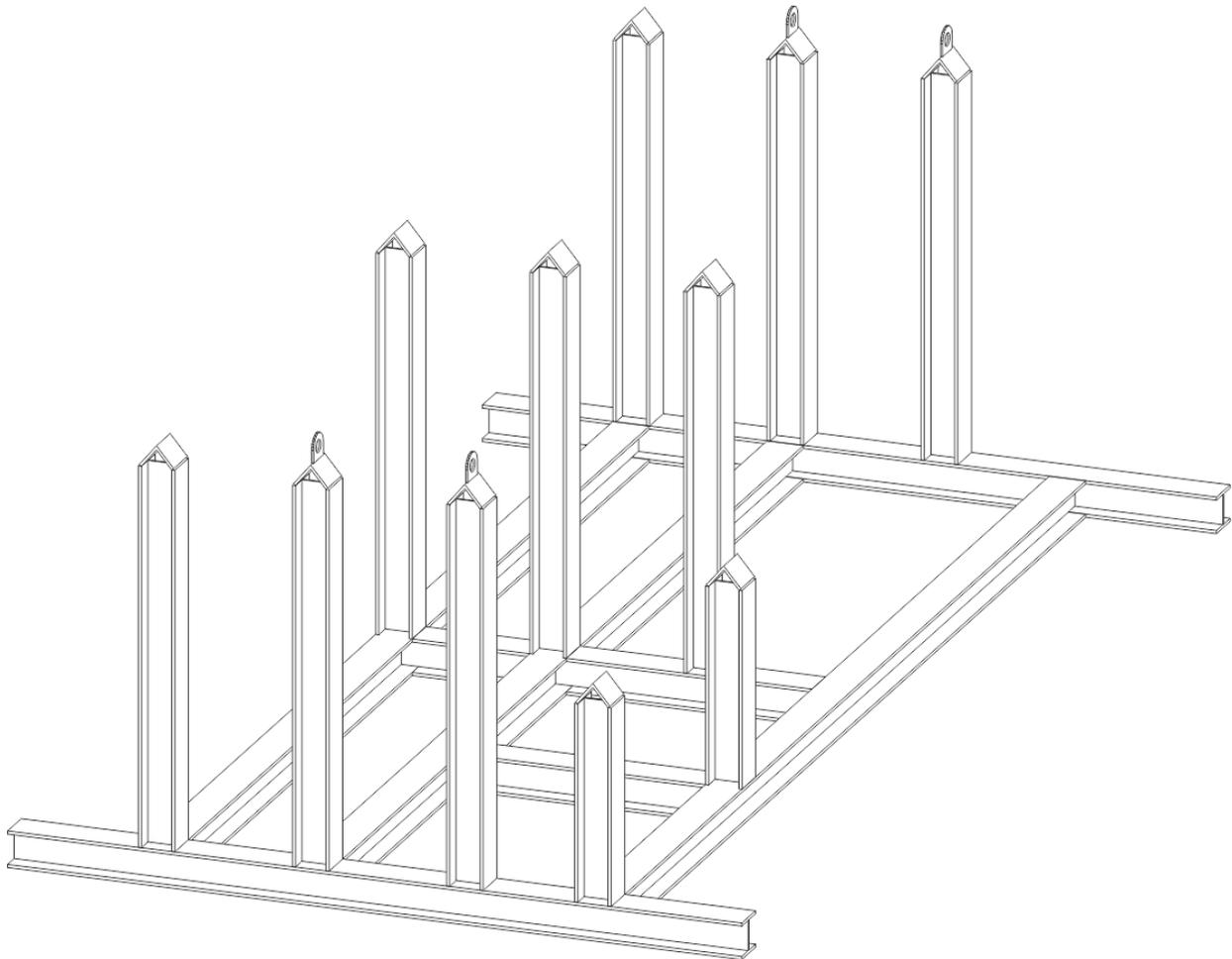


Bild 7.3-1: Blechlager-Gestell zur effizienten, aufrechten Lagerung von Rohblech  
Quelle: Verfasser

Die Vorrichtungen wurden vom Verfasser als transportable, erweiterbare Moduln entworfen. Beide Vorrichtungen sind so konstruiert, dass sie mit dem Hallenkran, 7 Tonnen Hakenlast, angehoben und transportiert werden können. Sie sollten dann zu Produktionsbeginn des Auftrags in der Anlieferungshalle bereit stehen. Dies erfolgte nicht, da der Werksleitung die Herstellung in Eigenleistung terminlich und finanziell nicht machbar erschien, von einer überdachten Erweiterung der Hallen ganz abgesehen. Die prätzigen Versandteile wurden somit, wie in Entwicklungsländern üblich, im Freien gestrahlt.

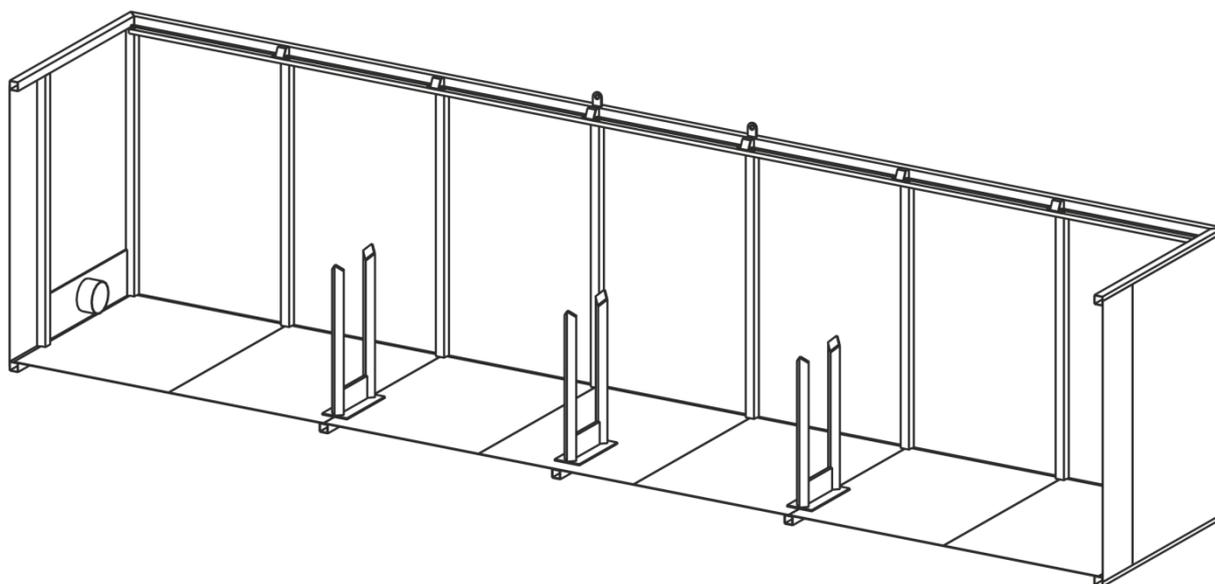


Bild 7.3-2: Oben offene Strahlkabine, Schlauch-Halterschienen, Absaugung  
Quelle: Verfasser

Für das von den Auditoren als Bedingung zum Vorab-Sandstrahlen von Rohblechen geforderte Farbspritzen unter einer schützenden Überdachung konzipierte der Verfasser eine geeignete Erweiterung der Fertigungshalle, Bild 7.3-3. Wenigstens diese Erweiterung soll so gebaut werden, so dass sie als attraktives Demonstrationsbeispiel effizienter, sicherer Bauweise zum Gewinn von Interessenten und Kunden dienen kann. Zwischen der Fertigungshalle und der Farbspritzhalle ist zum Schutz gegen Farbnebel und Farbgeruch eine Zwischenwand zweckmäßig. Diese könnte vom Hallenkran beim Transport von Halle zu Halle aber nur dann durchfahren werden, wenn eine Kranklappe in voller Hallenbreite in die Zwischenwand eingebaut würde. Weniger problematisch und kostspielig ist es, den Transport zwischen beiden Hallen über einen Halbportalkran zu bewerkstelligen. Als Halbportalkran unterhalb der Kranbahn an den Längswandstützen gelagert und auf dem Hallenboden in einer Schiene laufend, bleiben so die Hallenkräne in der Fertigungshalle und in der Farb-

spritzhalle stets frei für die dort intensiv anfallenden lokalen Transporte. Der Halbportalkran kann letztlich weitergeführt werden bis ans Ende des Grundstücks, um auch den weiteren Transport von der Farbspritzhalle in die geplante Versandhalle auszuführen, wie noch in Kapitel 8 erörtert.

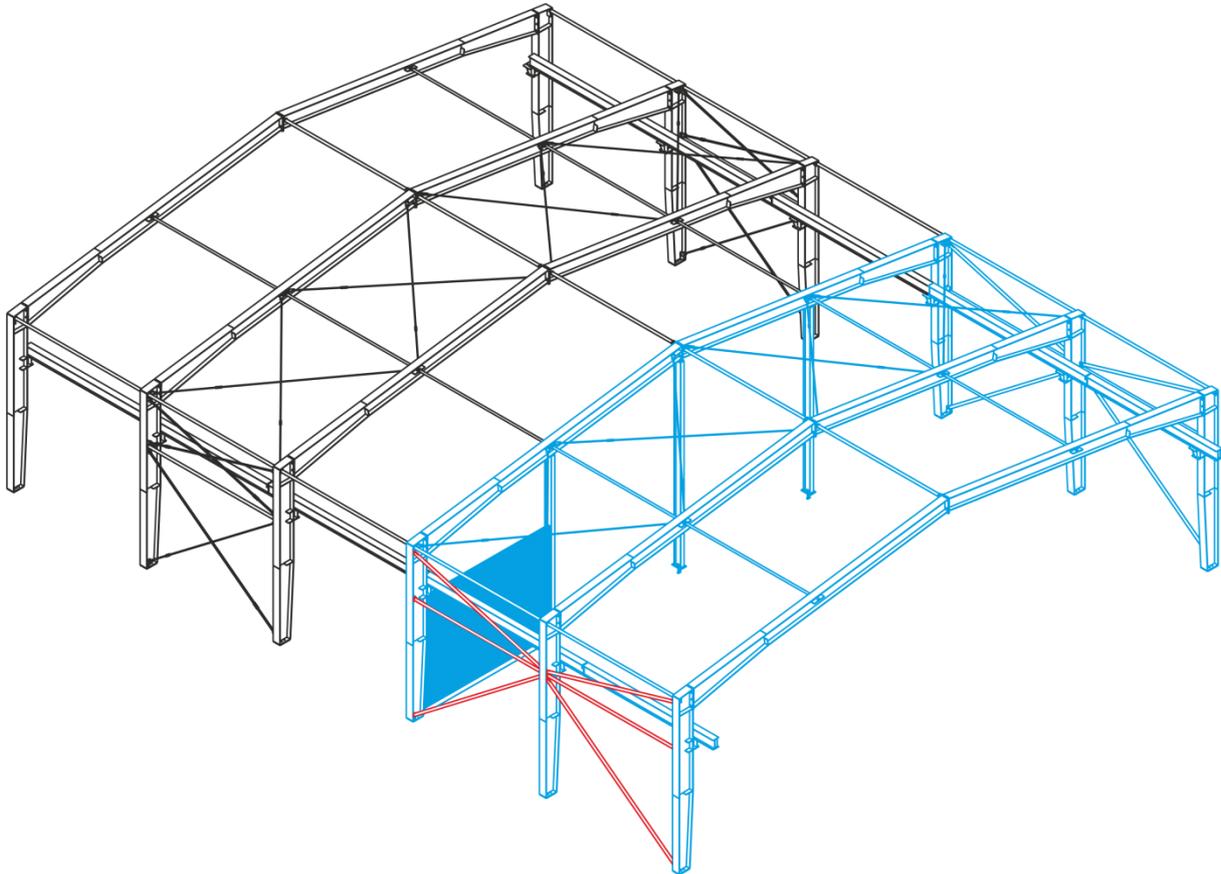


Bild 7.3-3: Geplante Farbspritzhalle (schwarz), Endfelder Fertigungshalle (blau)  
Quelle: Verfasser

Da diese effiziente, platzsparende und sichere Art der Lagerung, Vorab-Säuberung und Farbbeschichtung aus finanziellen und zeitlichen Gründen noch nicht verwirklicht wurde, muss die Verifizierung der Konzeption in diesen Punkten aufgeschoben werden, erscheint aber unkritisch. Der Nachweis der Richtigkeit der hier entwickelten Konzeption wird allerdings indirekt angetreten: Das Ergebnis des nachträglichen Sandstrahlens im Freien der prätigen Komponenten ist unbefriedigend. Die zusätzlich dabei anfallende Handhabung ist aufwändig, kostspielig und durch Staplereinsatz unfallträchtig. Das benachbarte Industrieunternehmen protestiert gegen die starke Staubbelastung des Sandstrahlens im Freien und droht Gegenmaßnahmen an. Mit diesen durch das Audit angestoßenen Adaptionen ändert sich der bisherige Layout-Plan des Werkes gemäß Bild 7.3-4.

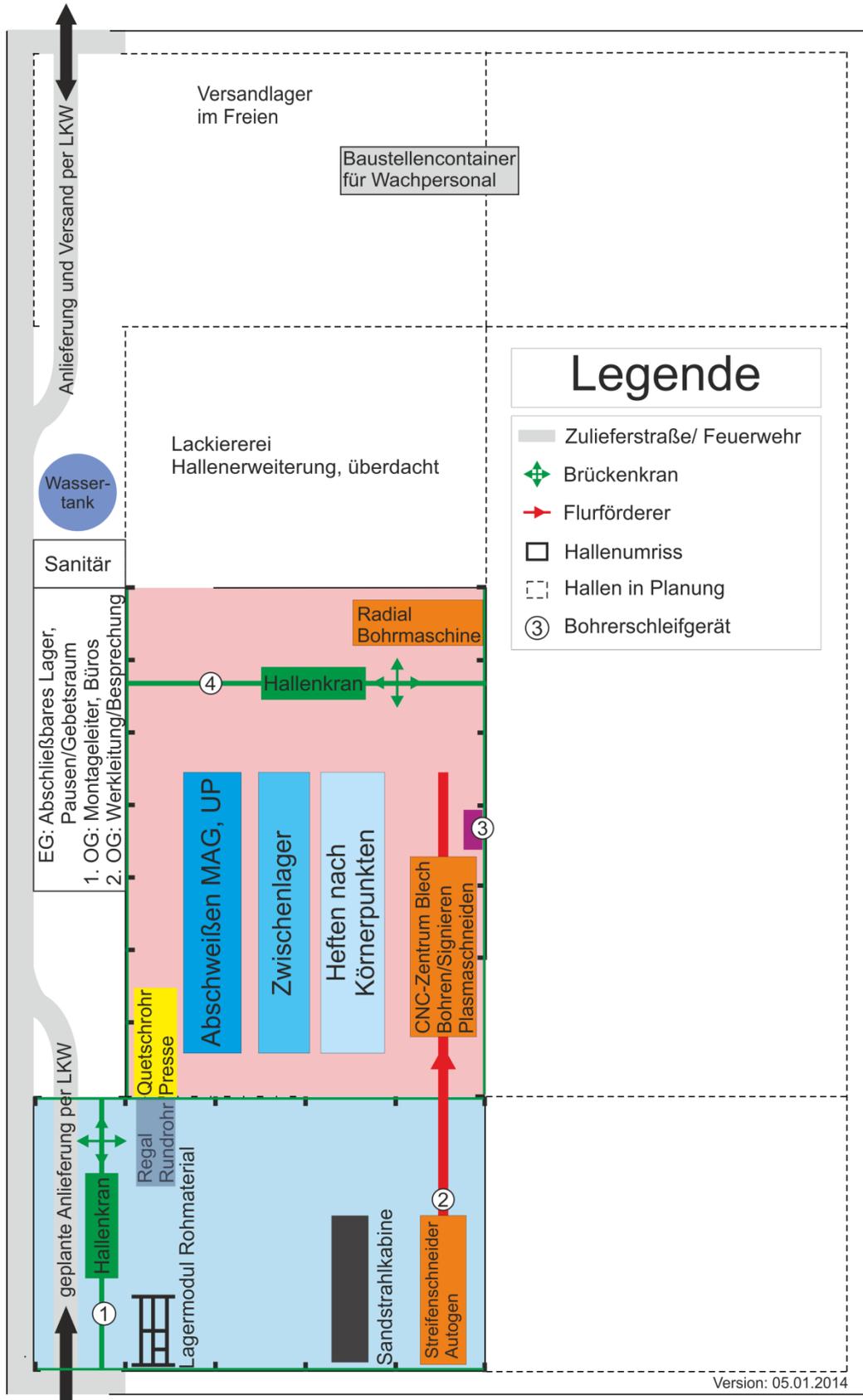


Bild 7.3-4: Erweitertes Werkslayout SARAMAN Isfahan  
 Quelle: Verfasser

Wegen der modularisierten, ankerlosen Bauweise können, dem steigenden Bedarf folgend, weitere gleichartige Lagergestelle in Eigenfertigung erstellt und in Reihe oder parallel angeordnet werden. Auch bleibt nach Bild 7.3-4 Platz frei, um später einmal die Sandstrahlkabine gegen eine Sandstrahlanlage mit eigenem Zufuhr- und Abfuhr-Rollgang zu ersetzen. Das Gleiche gilt für eine Vorrichtung für Unterpulverschweißen von langen Halskehlnähten und eine Fertigungslinie für die Bearbeitung von Rohren, z. B. Quetschrohren. Der Transport von Rohren unterscheidet sich grundsätzlich vom Transport aller übrigen Werkstücke aus Blech. Von den dafür konzipierten, ebenen Rollgängen und Querschleppern würden Rohre herunter rollen. Ein eigenes Rohr-Lagergestell und V-Rollgänge sind daher für effizienten und sicheren Transport von Rohren zu planen.

Das frühe Planen zukünftigen Bedarfs an Maschinen und Vorrichtungen und die Reservierung des dazu erforderlichen Platzes an bestgeeigneter Stelle im Werk ist in Entwicklungsländern unüblich und stößt zumindest auf passiven Widerstand. Wo Platz ist, wird er gedankenlos belegt. Ineffizienz entsteht so immer auch durch „historisch gewachsene“ Lösungen, die nie durchdacht wurden, geschweige denn systematisch vorab geplant und vom Leistungsbedarf her berechnet und bemessen. Strategische Planung wird, wie hier, nur in Glücksfällen durch Audits akut erzwungen.

Die Verwirklichung der durch das Audit angestoßenen Erweiterungen wird nur durch Finanzierung aus laufenden Aufträgen erfolgen können, da sämtliche Reserven, Kredite und Inhaber-Darlehen bereits in Maschinen, Gebäuden, Infrastruktur und Grundstück investiert sind. Für den folgenden experimentellen Nachweis standen die Erweiterungen deshalb nicht zur Verfügung. Lediglich die geplante Straßenanbindung nach Bild 7.3-4 für die Anlieferung des Rohmaterials per LKW direkt in die Lager- und Vorverarbeitungshalle wurde auf Drängen des Verfassers konzeptkonform nachgeholt.

Unter diesen Randbedingungen wurde ab August 2013 die Alltagsproduktion als finaler experimenteller Nachweis aufgenommen, wissenschaftlich vor Ort betreut und im folgenden Kapitel 7.4 beschrieben.

## 7.4 Verifizierung der adaptierten Produktionstechnik im Alltagseinsatz

Was ist der entscheidende Kern der ingenieurwissenschaftlichen Theorie dieser Arbeit, auf den absolut nicht verzichtet werden kann? Im vorliegenden Fall gibt es tatsächlich diesen entscheidenden Kern, mit dem alles steht und fällt. Es ist die effiziente und sichere Produktionstechnik passgenauer Präzision und Leistungsklasse, die landesübliche menschlichen Fehler und Kompetenzdefizite durch Automatisierung ausschließt. Fundament der hier gewonnenen Erkenntnis ist, angesichts der besonderen Gegebenheiten allgemein in Entwicklungsländern für das hier angestrebte Produktspektrum des Stahlbaus ausschließlich Bleche als Rohmaterial zu verwenden. Nur dadurch reicht ein einziges CNC-Blechbearbeitungszentrum, sämtliche Werkstücke dieses Spektrums mit Groß- und Kleinteilen zu fertigen. Um diese Restriktion einzuhalten, sind stets Ähnlichkeitslösungen im Detail anzuwenden, die zu Teilefamilien fertigungstechnischer Ähnlichkeit führen, auf die eine CAD/CAM/CNC-Prozesskette mit höchster Effizienz ausgelegt ist. Das CNC-Zentrum am Ende der Prozesskette sichert Passtoleranzen durch seine Präzision beim Bohren, Körnen, Signieren und Brennen. Die Körnerpunkte dienen der exakten Platzierung von Anbauteilen im Zusammenbau, völlig ohne händisches Messen. Durch die so erreichte Präzision im Zusammenbau sind alle Bauteile auf der Baustelle passgenau innerhalb von +/- 1 mm Toleranz mit Schraubverbindungen zu fügen – ohne jede Nacharbeit.

Die experimentelle Verifizierung der entwickelten Theorie konzentriert sich daher auf die Durchsetzung dieses Ziels bzw. den wissenschaftlichen Beweis dieser These durch Alltagseinsatz in einem besonders problematischen Entwicklungsland.

Der experimentelle Nachweis durch Produktion aller Blechteile im Alltagseinsatz konnte aufgrund der in den vorigen Kapiteln geschilderten Historie erst im August 2013 beginnen, mitten in einem laufenden, bisher konventionell gefertigten Auftrag für das Stahltragwerk eines Parkhauses. Dadurch bot sich wissenschaftlich die Chance, die unterschiedlichen Ergebnisse bisheriger konventioneller Fertigung mit den Ergebnissen der CNC-Fertigung anhand baugleicher Werkstücke qualitativ und sogar quantitativ zu messen. Stimmt die entwickelte Theorie, müssen die CNC-gefertigten Bauteile bei der Montage auf der Baustelle sofort passen, während die konventionell gefertigten Teile zu den landesüblichen Nacharbeiten führen.

Sich mitten im laufenden Auftrag schon ausgelastet dünkend, hatte allerdings das lokale Team an Ingenieuren und Werkern einen Vorwand, sich möglichst wenig oder gar nicht um den ungewohnten Einsatz des neuartigen CNC-Zentrums zu kümmern.

Passive Resistenz war allerorten zu überwinden. Mit konventioneller Fertigung war man bereits mehrmonatig im Verzug. Vorgeblich wegen zu später Bereitstellung des Rohmaterials durch den Auftraggeber, war aber zu erkennen, dass tatsächlich die Kleinteilefertigung von Anschlussblechen und Verjüngungsteilen der Kastenstützen (Bild 7.4-1 und -2) nachhinkte. Entsprechend ausgesetzte Zahlung der Löhne wegen Rückstands und Streik der Schweißer des Subunternehmens machte das lokale Team geneigter, jetzt durch erstmaligen Produktionseinsatz des CNC-Zentrums aufzuholen.

Zunächst wurden daher unter Anleitung des Verfassers die zeitkritischen Kleinteile aus dem CAD-System TEKLA vom entsprechend geschulten Ingenieur mit Hilfe eines Schachtelprogramms platzsparend auf dem vorgesehenen Rohblech platziert (Bild 7.4-1) und zu den speziellen CNC-Daten im G-Code transformiert, die das CNC-Zentrum zur Steuerung benötigt. Bild 7.4-1 zeigt als Bildschirmabzug den Schachtelplan von entsprechenden Anschlussblechen, Bild 7.4-2 die Schachtelung der Stützen-Verjüngungsbleche. Seite 128, linker Rand, illustriert eine Kastenstütze, an die diese Anbauteile im Zusammenbau zum anschließenden Abschweißen geheftet werden.

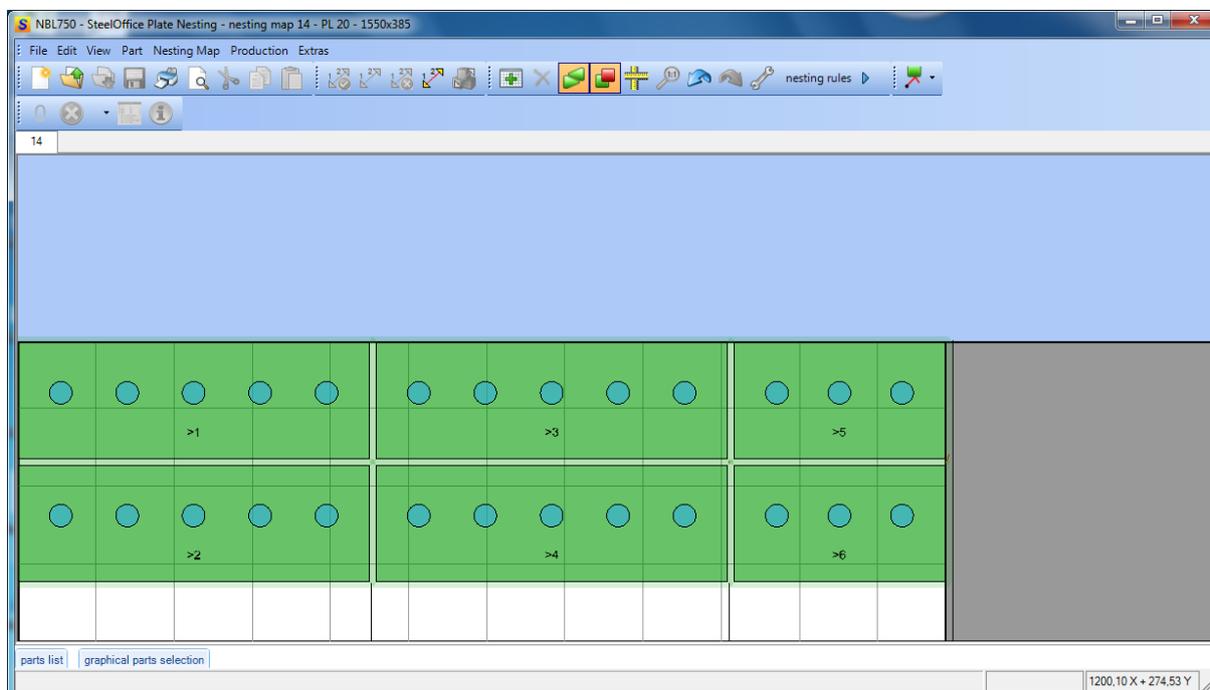


Bild 7.4-1: Schachtelplan, Anschlussbleche Stützen/Deckenträger  
Quelle: Verfasser, Bildschirmabzug SteelOffice

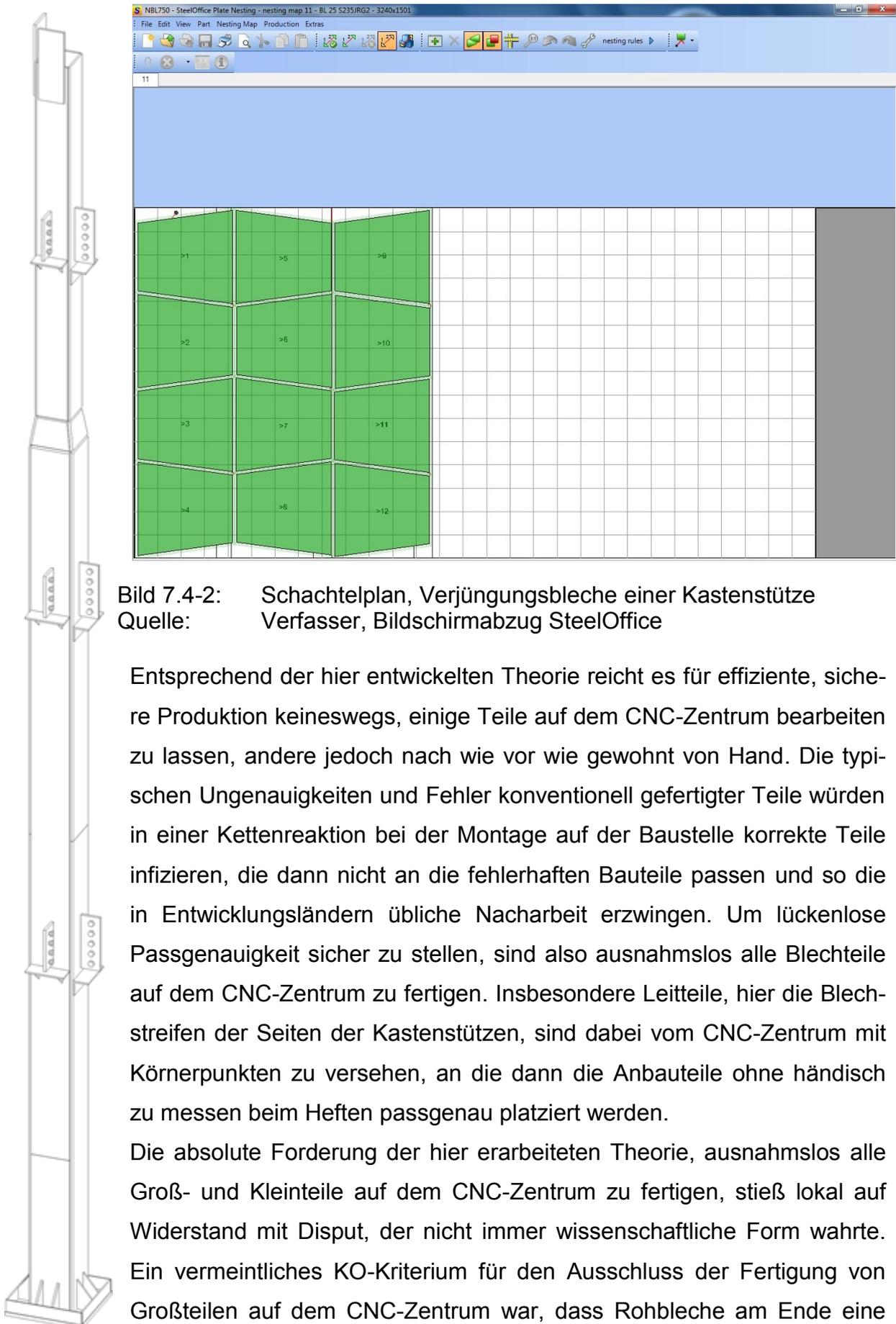


Bild 7.4-2: Schachtelplan, Verjüngungsbleche einer Kastenstütze  
Quelle: Verfasser, Bildschirmabzug SteelOffice

Entsprechend der hier entwickelten Theorie reicht es für effiziente, sichere Produktion keineswegs, einige Teile auf dem CNC-Zentrum bearbeiten zu lassen, andere jedoch nach wie vor wie gewohnt von Hand. Die typischen Ungenauigkeiten und Fehler konventionell gefertigter Teile würden in einer Kettenreaktion bei der Montage auf der Baustelle korrekte Teile infizieren, die dann nicht an die fehlerhaften Bauteile passen und so die in Entwicklungsländern übliche Nacharbeit erzwingen. Um lückenlose Passgenauigkeit sicher zu stellen, sind also ausnahmslos alle Blechteile auf dem CNC-Zentrum zu fertigen. Insbesondere Leiteile, hier die Blechstreifen der Seiten der Kastenstützen, sind dabei vom CNC-Zentrum mit Körnerpunkten zu versehen, an die dann die Anbauteile ohne händisch zu messen beim Heften passgenau platziert werden.

Die absolute Forderung der hier erarbeiteten Theorie, ausnahmslos alle Groß- und Kleinteile auf dem CNC-Zentrum zu fertigen, stieß lokal auf Widerstand mit Disput, der nicht immer wissenschaftliche Form wahrte. Ein vermeintliches KO-Kriterium für den Ausschluss der Fertigung von Großteilen auf dem CNC-Zentrum war, dass Rohbleche am Ende eine

Überlänge von ca. 350 mm für den Nachlaufbereich der Vorschubwalzen, der Werkstückspannung und Messräder haben müssen. Die gelieferten Rohbleche hatten jedoch als Bearbeitungszugabe nur eine Überlänge von durchschnittlich 3 mm. Der Verfasser fügte deshalb in den Zufuhrrollgang des CNC-Zentrums eine Heftstation ein, in der bei Bedarf ein passendes Nachlaufblech an das Rohblech bzw. den Blechstreifen angeheftet wird, Bild 7.4-4.



Bild 7.4-4: Heftstation für ein Nachlaufblech, Zufuhrrollgang CNC-Zentrum  
Quelle: Verfasser

Auch diese Lösung wurde als zu umständlich und aufwändig kritisiert. Ein Alltagseinsatz auch nach Ablauf des experimentellen Nachweises, dann ohne Präsenz des Verfassers, war also nicht zu erwarten. Statt eines eigens gefertigten Nachlaufbleches wurden deshalb gleich breite Blechstreifen auf dem Zufuhrrollgang des CNC-Zentrums direkt hintereinander angeordnet und im Kontaktbereich mit kurzen Nähten geheftet. Der Endschnitt des CNC-Zentrums ist dann zugleich Kopfschnitt des nachfolgenden Werkstücks, Bild 7.4-5. So wurde Schritt für Schritt wenigstens auf die erkennbaren Widerstände gegen ungewohnte Neuerungen eingegangen, um den Weg für späteren Einsatz auch ohne Überwachung nicht zu versperren.



Bild 7.4-5: Endschnitt des fertigen Bauteils als Kopfschnitt des Folgeteils

Quelle: Verfasser

So wurden dann endlich auch Großteile der aus Blechen zusammengesetzten Kastenstützen als Leiteile auf dem CNC-Zentrum mit allen Körnungen, Bohrungen und Signierung fertig bearbeitet, direkt ausgehend von den CAD-Daten, also unter Ausschaltung menschlicher Fehlerquellen, Bild 7.4-6.

Damit erfolgte der entscheidende Durchbruch des experimentellen Nachweises der entwickelten Theorie. Ausnahmslos alle Blechteile werden CAD-konstruiert auf dem CNC-Zentrum passgenau gefertigt und mit Körnerpunkten versehen, so dass im Zusammenbau die Anbauteile passgenau an die Leiteile geheftet und geschweißt werden. Dieser Schritt von zentraler Bedeutung wird in den folgenden Bildern anschaulich dargestellt.

Bild 7.4-6 zeigt die vom CAD-Hochleistungssystem automatisch erzeugte Geometrie des Werkstücks einschließlich aller zugehöriger Bohrungen, Signierungen, Körnungen und Konturschnitte, weitergeleitet an das spezielle Schachtelprogramm, das die CNC-Steuerungsdaten für dieses Teil daraufhin automatisch erzeugt.

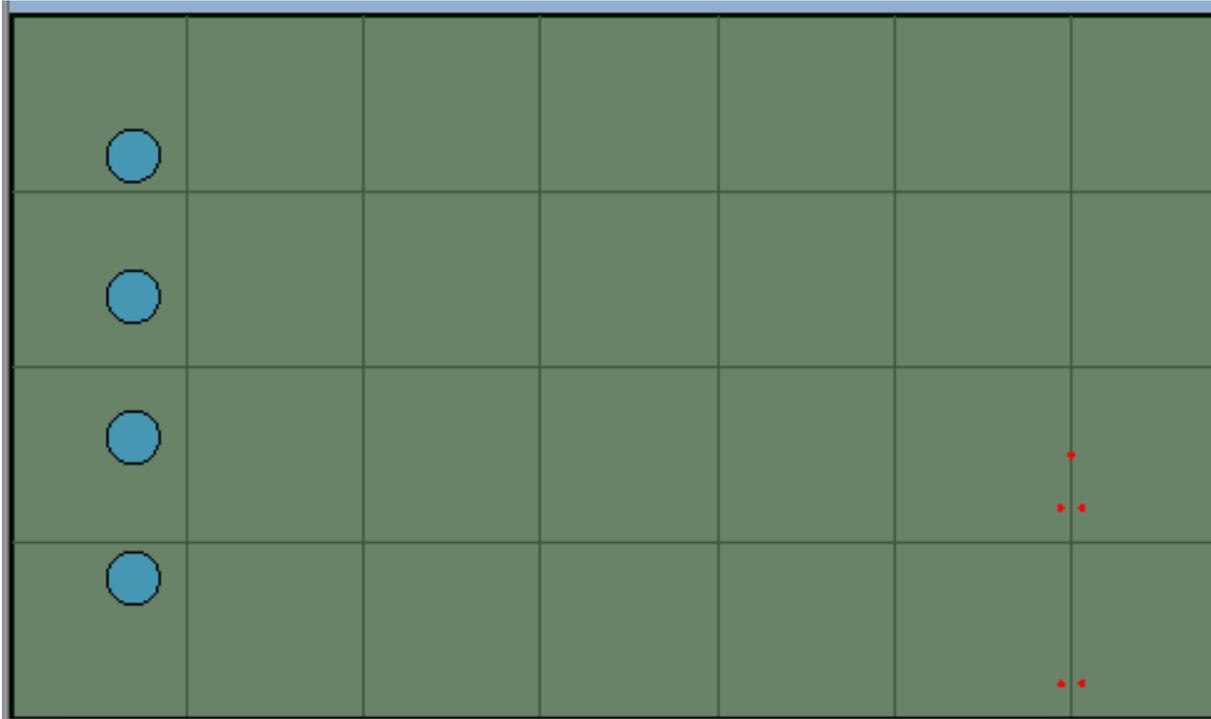


Bild 7.4-6: Ausschnitt Schachtelplan, Leiteil mit Körnerpunkten (rot)  
Quelle: Verfasser, Bildschirmabzug SteelOffice

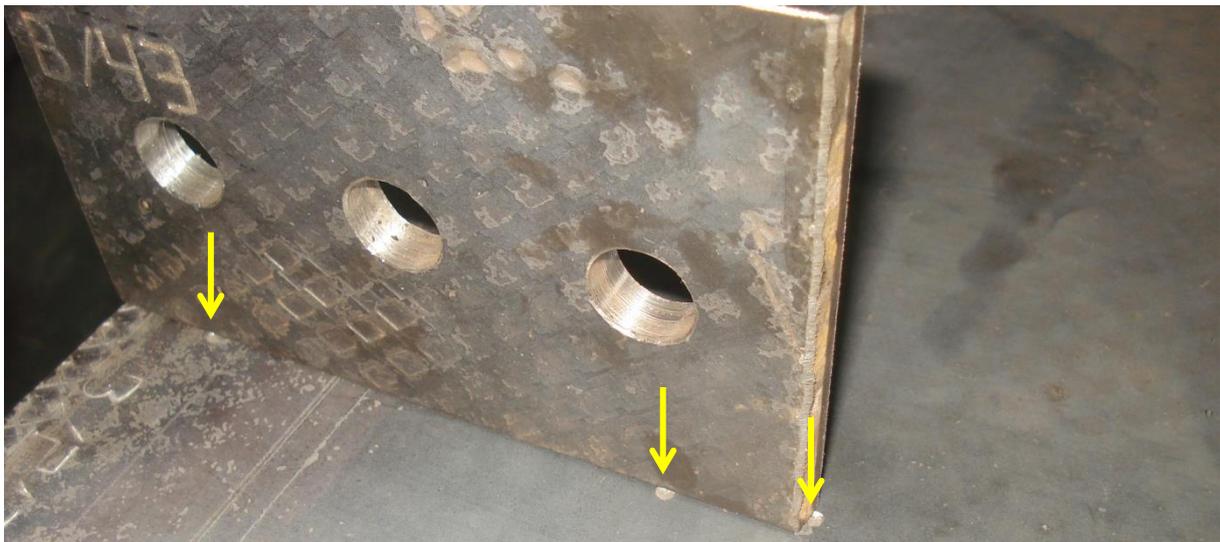


Bild 7.4-7: Anschlussblech, passgenau an Körnerpunkte des Leiteils platziert  
Quelle: Verfasser

Zu betonen ist, dass CAD-Hochleistungssysteme automatisch um die Kontaktfläche von Leiteil und Anbauteil herum passende Körnerpunkte erzeugen, wie sie in Bild 7.4-6 symbolisch (rote Punkte) und dann in Bild 7.4-7 real zu sehen sind. Der Bediener am Bildschirm macht dazu keine Eingabe, Fehlermöglichkeiten sind ihm somit entzogen. Das CNC-Zentrum körnt die Körnerpunkte durch leichtes Ansenken mit der kleinsten Bohrerspitze automatisch. An diese Körnerpunkte, die Kontaktfläche

zum Anbauteil markierend, wird beim Heften im Zusammenbau dann das Anbauteil, hier Positionsnummer B/43, mittig platziert. Um auszuschließen, dass Anbauteile verwechselt und also falsch platziert werden könnten, erfolgt auch die Signierung der Positionsnummer auf dem Anbauteil sowie die Signierung des Leiteils, ausgehend von der CAD-Information, durch das CNC-Zentrum. Mit Kreide händisch beschriftete Teile dürfen bei Einhaltung der Theorie dieser Arbeit nicht mehr vorkommen. Sie wären ein ernstes Warnsignal, das die Werksleitung sofort zum Handeln zwingt.

Beide Bilder machen somit anschaulich, wie durch lückenlose Automatisierung - von der CAD-Planung bis zur Fertigung einschließlich - die in Entwicklungsländern besonders typischen menschlichen Fehler verfahrensimmant ausgeschlossen werden. Zugleich wird eine Passgenauigkeit gesichert, die Nacharbeit auf der Baustelle eliminiert. Effiziente, sichere Produktionstechnik für Stahlbau in Entwicklungsländern ist mit dieser Konzeption in der Tat erreicht und hier durch experimentellen Nachweis am realen Muster-Unternehmen in einem Entwicklungsland belegt. Bild 7.4-7 wird deshalb auch auf dem Deckblatt der Arbeit besonders herausgestellt.

Der störungsfreie Betrieb des zentralen CNC-Blechbearbeitungszentrums für grundsätzlich alle zu fertigenden Blechteile, ggf. in Zweischicht- oder Dreischichtbetrieb, wird als Existenzgrundlage und Alleinstellungsmerkmal für das Bestehen und den wirtschaftlichen Erfolg des Muster-Unternehmens entscheidend sein.

Aus Zeit- und Gesundheitsgründen des Verfassers musste der experimentelle Nachweis hier ohne den geplanten, mehrmonatig wissenschaftlich betreuten Alltagseinsatz abgebrochen werden. Dass alle Groß- und Kleinteile auf dem CNC-Zentrum effizient und sicher passgenau bearbeitet werden können, ist zwar hiermit nachgewiesen. Ob aber auf diese Weise zukünftig die Alltagsproduktion ohne Ausnahmen durchgeführt werden wird, ist angesichts der zurückhaltenden Unterstützung des lokalen Teams offen. Der Daseinsgrund des Werks ist vom lokalen Team kaum verinnerlicht, d. h. der personalbezogene Teil des Ansatzes ist weitgehend gescheitert. Ob bei ersten auftretenden Problemen, die dann selbständig „auf eigenen Füßen“ gelöst werden müssten, zur konventionellen Fertigung von Hand zurückgegangen wird, ist nicht auszuschließen.

Das CNC-Zentrum, über das alle herzustellenden Teile aller Aufträge laufen sollen, ist der kritische Pfad des Werkes. Entsprechend durchschlagend werden Betriebsun-

terbrechungen und Störungen sein. Statt das lokale Team stark zu machen für die rasche Lösung von Störungen am CNC-Zentrum, wird möglicherweise die Rückkehr zu konventioneller Fertigung offen gehalten.

Von der Anlieferung bis zum Versand, die Ingenieurarbeiten der Planung und Arbeitsvorbereitung einschließend, liefert der experimentelle Nachweis eine nüchterne, wissenschaftliche Darstellung von Erfolg und Misserfolg der hier entwickelten Gesamtkonzeption einer CAD/CAM/CNC-Prozesskette für effiziente, sichere Produktionstechnik in Entwicklungsländern allgemein.

Dass die entwickelte Theorie und die erarbeitete Lösung auf weitere Entwicklungsländer in allen Grundsätzen allgemein übertragbar sind, schildert das folgende Kapitel 7.5.

Im letzten Kapitel 8 werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassend bewertet und ein Ausblick auf die weiteren Entwicklungen mit Ratschlägen gegeben.

## 7.5 Schlosserei in Tansania für erdbebentüchtige Bauten

An einem weiteren Fallbeispiel der Wuppertaler Forschungsgruppe, hier nicht in Asien sondern in Afrika, wird nachfolgend kurz die Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit des Ansatzes in der kleinsten Version erörtert.

Infolge der erschütternden Zahl an Aids-Waisen im Entwicklungsland Tansania ist dort ein beachtlicher Baubedarf nach Schulen/Kindergärten mit angeschlossener Lehrwerkstatt entstanden. Kunden für derartige Bauten sind vorwiegend soziale und kirchliche Einrichtungen mit finanzieller und personeller Start-Förderung aus entwickelten Ländern. Die Schlussfolgerungen aus Kapitel 4 gelten auch hier, lediglich die Größenordnung des zur experimentellen Verifizierung in Tansania gegründeten Projekts wird an die lokale Situation adaptiert.



Bild 7.5-1: Kindergarten mit Schlosserei-Lehrwerkstatt in Tansania

Quelle: M. Herold

Die Produktstrategie und Produktentwicklung der Kindergärten mit Schlosserei-Lehrwerkstatt (Bild 7.5-1) beschränkt sich wegen landestypisch fehlender Infrastruktur auf erdbebentüchtige, eingeschossige Fachwerkbauten, die mit einfachster Produktionstechnik handwerklicher Art in Lehrwerkstätten gefertigt werden können. So

sollen nach dem Muster des Pilot-Kindergartens Bild 7.5-1 weitere Fachwerkbauten zunächst regional, dann aber auch grenzüberschreitend geliefert werden.

Das Führungsduo des Projekts ist auf afrikanischer Seite die leitende kirchliche Schwester der Station (Bild 7.5-2), auf deutscher Seite ein engagierter Lehrer einer bayerischen Förderschule, der vor Ort in Tansania fachliche Anleitung gibt.



Bild 7.5-2: Lokale Unternehmerin, Schwester Maria Msella  
Quelle: M. Herold

Die Schüler der Förderschule waren mit Versuchsmodellen darauf gekommen, dass Fachwerkbauten erstaunlich erdbebentüchtig sind, Bild 7.5-3.



Bild 7.5-3: Versuchsmodell Förderschule  
Quelle: M. Herold

Über Internet-Recherche fanden sie das Wuppertaler Forschungsprojekt zu Stahl-fachwerkbauten mit sichtbarer Erdbeben-tüchtigkeit, auch in Afrika von Relevanz. Spender förderten das Projekt und ein sozial engagierter Metallbau-Unternehmer in der Nähe der Förderschule baute zusammen mit den Förderschülern an Wochenenden und nach Feierabend den ersten Muster-Kindergarten, Bild 7.5-1. Nach Fertigstellung und Probemontage durch die Schüler auf dem Hof des Metallbauwerks wurde er im Container nach Tansania verschifft, wo er, wie in Entwicklungsländern üblich, im Zollhafen festgehalten wurde. Erst der lokale Bischof konnte nach einigen Monaten den Container mit Stahlfachwerk und ersten, gespendeten Geräten für die Lehrwerkstatt auslösen, ähnlich wie im vorigen Fallbeispiel.



Bild 7.5-4: Fertigung eines erdbebentüchtigen Stahlfachwerks für Tansania  
Quelle: M. Herold

Produktstrategie war in diesem Fallbeispiel die Konzentration auf das Wuppertaler Stahlfachwerk-Prinzip mit Strohlehm-Ausmauerung, Bild 7.5-5. Durch Beschränkung auf sich wiederholende, nach Bedarf aneinandergfügten Wandelemente gleichen Profils, Höhe und Breite wird effiziente, sichere Produktionstechnik in Lehren nach

Bild 7.5-4 mit einfachsten Fertigungsmitteln und zunächst ungelerten Förderschülern bzw. später dann Schülern in Afrika möglich.

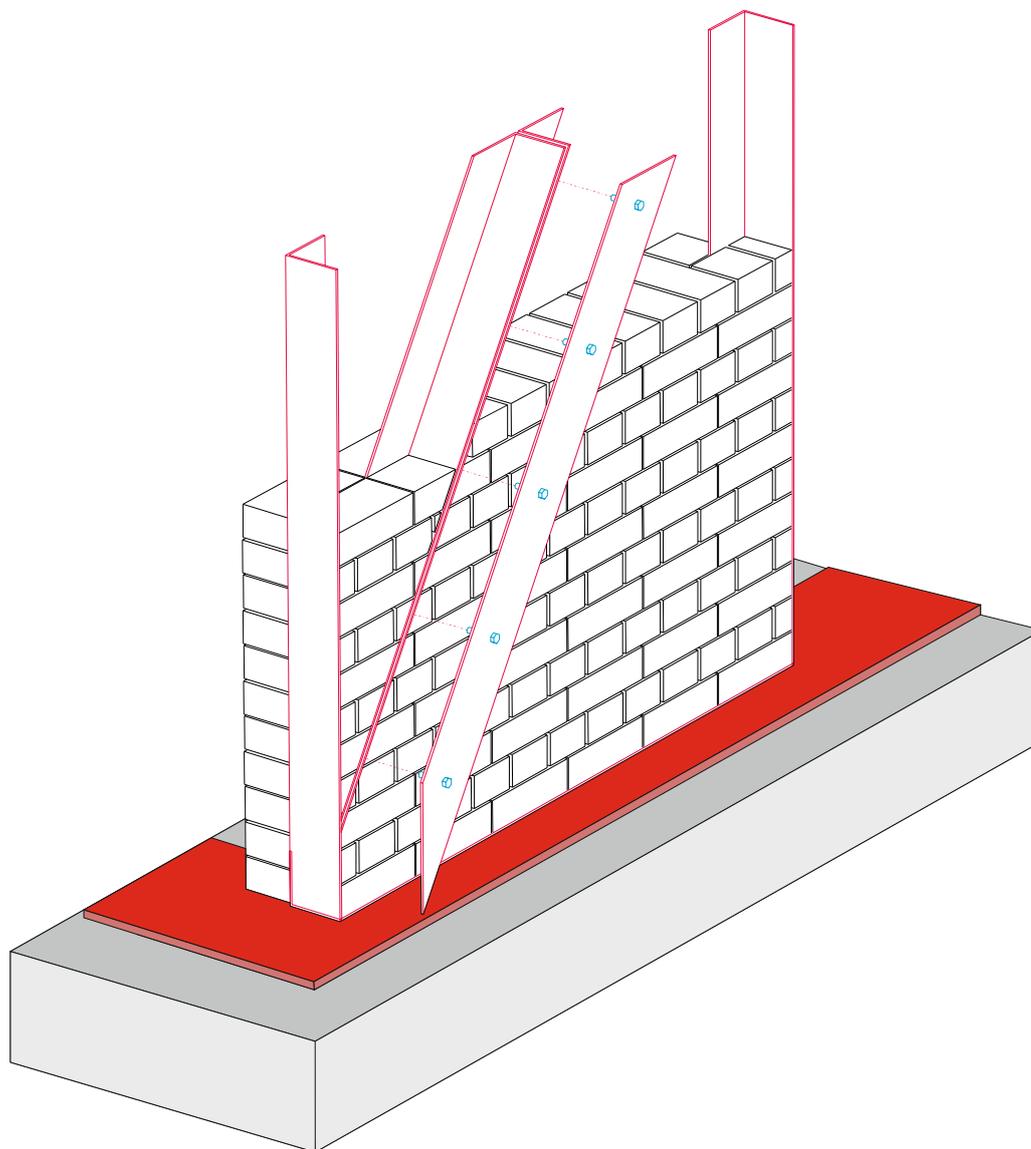


Bild 7.5-5: Prinzip eines erdbebentüchtigen Stahlfachwerks

Quelle: Verfasser

Im Fachwerk-Baustil bleiben alle sicherheitsrelevanten Tragstäbe, auch die im Erdbebenfall entscheidenden Fachwerkdagonalen, stets und für alle von außen sichtbar. Kein anderer Baustil bietet diese bleibende Sichtkontrolle auch für Nichtfachleute.

Übliche Fachwerkbauweise mit Holzfachwerk ist für Länder mit Termitenrisiko kaum geeignet. Es bietet sich daher an, für das Fachwerk einen im Erdbebenfall noch leistungsfähigeren Werkstoff zu verwenden: Stahl. Viele Entwicklungsländer haben staatliche Stahlwerke, weil diese Industrie als strategisch bedeutend angesehen wird und die Anlagen komplett funktionstüchtig importiert werden können.

Den an der BUW entwickelten Ansatz aufgreifend, werden nun seit Mitte 2013 in Tansania (Afrika) als deutsches Hilfsprojekt Kindergärten für Aids-Waisen in der konzipierten Stahlfachwerk-Bauweise gebaut, Bild 7.5-6 bei Montage und 7.5-1 kurz vor Bezugsfertigkeit.

Auch dieses Fallbeispiel, erweitert um eine Schlosserei-Lehrwerkstatt, dient dem Nachweis der Allgemeingültigkeit des hier entwickelten Ansatzes in einfachster Form für Entwicklungsländer. Bereits 2006 hatte W. Fischer in seiner Dissertation [6-1] erarbeitet, wie innovativ kleine Metallbauunternehmen im Markt wirken können.



Bild 7.5-6: Erdbebentüchtiger Stahlfachwerk-Kindergarten, Tansania  
Quelle: Michael.Herold@bnv-gz.de

Es folgt abschließend die Bewertung der Erkenntnisse und ein Ausblick, Kapitel 8.

## 8 Bewertung der Erkenntnisse und Ausblick

Zunächst seien die Erkenntnisse kurz umrissen und bewertet:

Ein Führungsduo, bestehend aus einem branchenerfahrenen deutschen Unternehmer und einem lokal kundigen Unternehmer, ist erfolgsentscheidend.

Ein Führungstrio, bestehend aus dem Führungsduo und einem lokalen Investor bietet in Entwicklungsländern erhebliches Konfliktpotential aus lokalen kulturellen Gründen. Es wird zu einer eindeutigen Unternehmensführung, durch Firmenanteile gesichert, eines fachlich umfassend kompetenten, lokalen Unternehmers geraten.

Der Wohnsitz der Unternehmer-Familie sollte nah beim Werk und den Büros liegen. Tägliche Präsenz ist ratsam.

Die Finanzierung eines Start-Up Unternehmens in einem Entwicklungsland ist zunächst nur teilweise mit Erträgen aus eigenem Erwerb möglich. Darlehen von Mitgliedern der Großfamilie sind üblich, müssen jedoch ergänzt werden vom deutschen Unternehmer, insbesondere bei Beschaffung von Maschinen.

Die Unternehmer-Nachfolge ist durch frühe Auswahl und Förderung von Hoffnungsträgern zu sichern, Jahrzehnte vor dem Pensionsalter des Unternehmers. Die Nachfolge erweist sich als sehr ernstes Problem, besonders in Entwicklungsländern mit Flucht junger Hoffnungsträger ins prosperierende Ausland: „Brain-Drain“. Laut ZEIT Nr. 39 (Seite 14) vom 12.9.2013 verlassen zum Beispiel pro Jahr 180.000 ausgebildete Iraner ihr Heimatland, um in entwickelten Ländern zu arbeiten.

Der Aufbau eines lokalen Kompetenzteams ist außerordentlich schwierig und aufwändig für beide Seiten. Die Erfolgsquote ist selbst bei bester fachlicher und finanzieller Förderung ernüchternd gering.

Stahlbau-Unternehmen werden in Entwicklungsländern lediglich als Subunternehmer für die Fertigung des Stahltragwerks beauftragt. Sie haben die vom Architektur- und Planungsbüro vorgegebenen, ineffizienten Lösungen zu akzeptieren. Das Prinzip ist ähnlich dem angelsächsischen System, in dem das Architekturbüro die gesamte Planung und Detaillierung ohne Kenntnis des späteren Fertigers ausführt und anschließend den billigsten Fertiger wählt. Das deutsche System, durchdachten Komplettbau und Alternativlösungen des Fertigers im Markt anzubieten, ist trotz Effizienz, Sicherheit und massiver Kostenersparnis nicht gebräuchlich. Die Durchsetzung effizienter, sicherer Konstruktionsdetails Europäischen Niveaus, z. B. Stirnplattenanschlüsse oder Rundeisenverbände, durch Verwendung europäischer CAD-Konstruktionsmethoden stößt auf hohe Hürden.

Weise Beschränkung des Produktspektrums hat sich generell als Ansatz und hinsichtlich der Ausrichtung auf sich wiederholende Ähnlichkeitslösungen im Detail bestätigt, z. B. erdbebentüchtige Schulen, Verwaltungsbauten und Industriehallen. Diese Produktspektren sind systematisch zu Teilefamilien mit fertigungstechnisch hinreichend ähnlichen Teilen zu strukturieren, so dass dafür CAD/CAM/CNC-Prozessketten höchster Effizienz entwickelt werden können. Strategische Produktplanung in diesem Sinne wird für Entwicklungsländer in den erörterten Schritten nachdrücklich empfohlen.

Die Akquisition entsprechender, zum Produktionsspektrum des Unternehmens passender Aufträge von Dauer-Investoren und damit die Finanzierung des Unternehmens, ist die wichtigste Aufgabe des lokalen Unternehmers in Krisenzeiten, auch in Entwicklungsländern. Die Frage stellt sich allerdings, ob in Entwicklungsländern eine seriöse Auftragsakquisition möglich ist und wie sie bewerkstelligt werden kann.

Die Beschränkung auf Blechverarbeitung für das gewählte Produktspektrum, also Verzicht auf Profilverarbeitung, hat sich in Entwicklungsländern als richtig erwiesen. Sie erst erlaubt automatisierte Fertigung mit nur einem einzigen CNC-Zentrum zu noch tragbaren Investitionskosten.

Der unverzichtbare Kern der These dieser Arbeit, Eliminierung der Fehlerquellen durch lückenlose Automatisierung/Mechanisierung des gesamten Produktionsprozesses mit einer CAD/CAM/CNC-Prozesskette, ist experimentell qualitativ nachgewiesen. Das Prinzip funktioniert. Der wissenschaftliche, zahlenmäßige Nachweis des Erfolgs im Verfahrenvergleich konventionell/CNC konnte aus Zeitgründen nicht durchgeführt werden.

Die Endphasen des Fertigungsflusses mit Maschinen- und Transportausrüstung sind in dieser Arbeit bisher unausgegoren geblieben. Als Ausblick wird deshalb gezeigt, wie nach Durchdenken des gesamten Fertigungsflusses von der Anlieferung bis zum Versand die Gesamtkonzeption der Produktionstechnik eines Stahlbauwerks in Entwicklungsländern aussehen muss. Die Gesamtsicht ist in Bild 8.1 übersichtlich als symbolischer Layout-Plan dargestellt. Auch für zukünftig weitere sinnvolle Maschinen im Sinne des angestrebten Produktspektrums ist der jeweils bestgeeignete Platz in Bild 8.1 vorgeschlagen und im Folgenden erörtert.

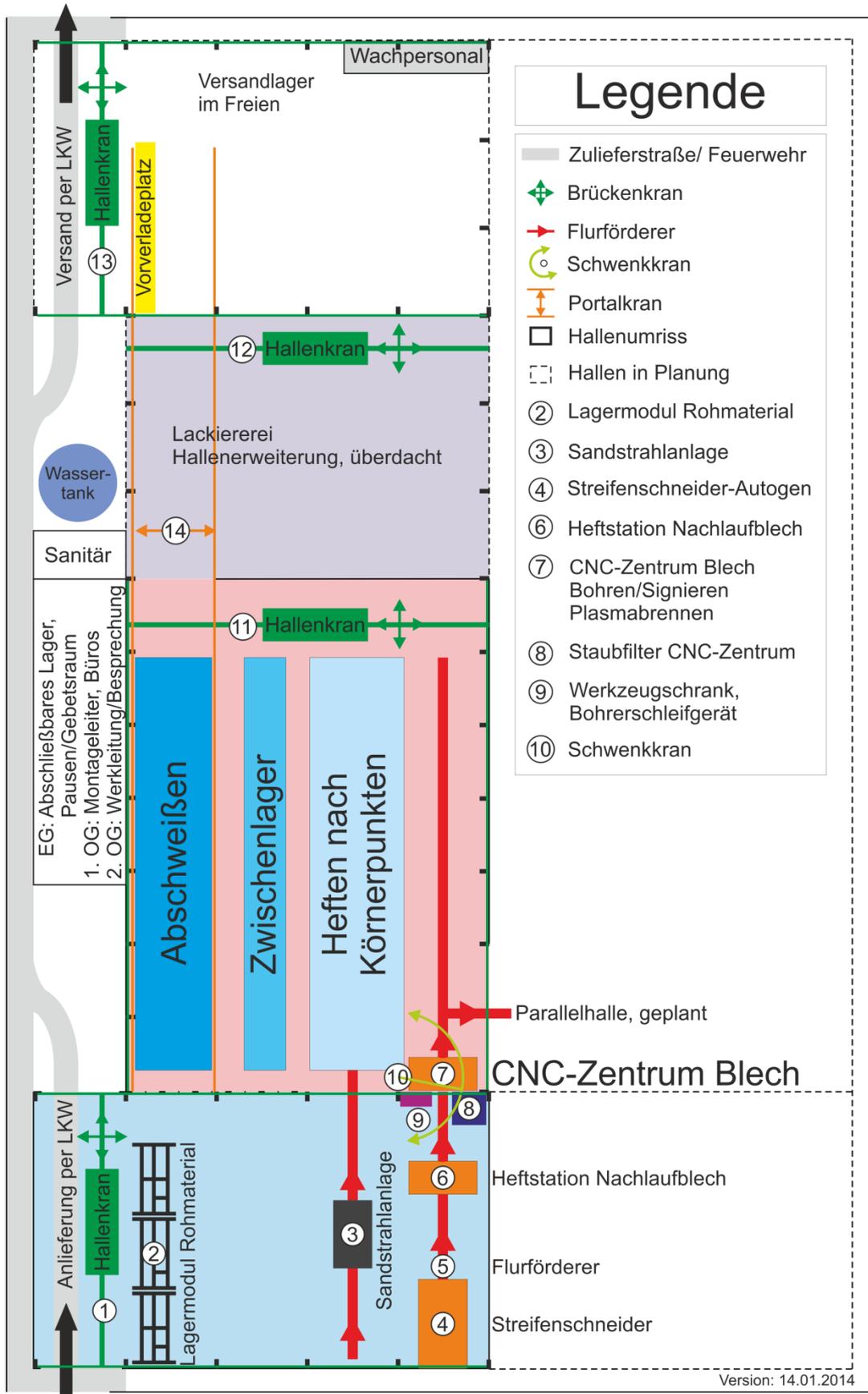


Bild 8.1: Ausblick, ganzheitlicher Layout-Plan eines Muster-Unternehmens  
 Quelle: Verfasser

Die Praxiserfahrungen des experimentellen Nachweises und des Kundenaudits einbeziehend, ergeben sich erhebliche Änderungen der räumlichen Anordnung der Maschinen und Transportmittel gegenüber dem bisher realisierten Layout, nicht jedoch des Fertigungsprinzips.

Der Vergleich des ganzheitlichen Layout-Plans Bild 8.1 mit früheren Versionen des Layouts zeigt, dass das CNC-Zentrum an die Stirnseite der Fertigungshalle mit Eingangsrollgang in der Anlieferungshalle zukünftig zu verlegen ist. Der aktuelle Standort ist nicht mehr haltbar, sobald eine Parallelhalle zur Erhöhung der Kapazität des Zusammenbaus gebaut wird, dem heutigen Engpass. Der neue Standort an der Grenze der Anlieferungshalle zur Fertigungshalle löst ein Hauptproblem des Transports im Stahlbau, anschlagfreie Förderung von Halle zu Halle. Mit dem hier im Ausblick vorgeschlagenen, neuen Standort fördert das CNC-Zentrum ohne jeden Zusatzaufwand die Werkstücke vom Eingangsrollgang in der Anlieferungshalle durch die Bearbeitung auf den Ausgangsrollgang in der Fertigungshalle. Wie leicht zu sehen, ist dies die effizienteste und sicherste Lösung des Transports von Halle zu Halle, für alle Bauteile aller Aufträge ohne Ausnahme.

Engpassmaschinen sind bei höherer Auslastung mehrschichtig zu fahren mit Pufferung einer Schichtleistung auf Querpuffern.

Die in Kapitel 7.3 erörterte Sandstrahlkabine ist in Bild 8.1 durch eine automatische Sandstrahlanlage ersetzt. Bei genügender Auslastung ist eine automatische Sandstrahlanlage effizienter und sicherer als von Mitarbeitern händisch durchgeführtes Strahlen. Das zukünftige Konzept mit Strahlanlage und Querpuffer entspricht nun auch den Vorbild-Unternehmen mit dem Zusatzvorteil des Transports von Halle zu Halle ohne zusätzliche Transporteinrichtung. Es garantiert, dass die Flussrichtung der Werkstücke von der Anlieferung bis zum Versand ausnahmslos der Stabrichtung der Langteile entspricht. Das aufwändige und gefährliche Wenden von Langteilen um die Hochachse konnte vollständig ausgeschlossen werden, auch bei Anschluss zukünftiger, paralleler Fertigungshallen.

Der Durchsatz paralleler Zusammenbaustationen kann dem Bedarf folgend mit Wendomaten erheblich gesteigert werden, zudem mit Gewinn an Arbeitssicherheit. Das Heften von Anbauteilen an ihre Leitteile mit präziser Platzierung über CNC-gefertigte Körnerpunkte ohne Messen von Hand, siehe Deckblatt der Arbeit, erweist sich als besonders wichtiges Ziel höchster Effizienz und Fehlerfreiheit. Es in einem Entwicklungsland ohne Facharbeiter durchzusetzen, erfordert unternehmerisch unermüdliche

Ausdauer und notfalls personelle Konsequenzen. Gelingt es, wird eine große Fehlerquelle eliminiert.

Für die maschinelle Einrichtung eines vollständigen, für Entwicklungsländer allgemein geeigneten Werks hätte die Untersuchung seriöse Planungsdaten liefern sollen, ab welchem Durchsatz welche Maßnahme rentabel wird. Dies erfolgte aus Zeitgründen nicht.

Als zweites Fallbeispiel wurde die Minimallösung der Produktionstechnik für ein Entwicklungsland mit sehr geringer Infrastruktur vorgestellt, Tansania. Auch hier zeigte sich durch experimentelle Verifizierung vor Ort, dass alle grundsätzlichen Schritte und Erkenntnisse dieser Arbeit gültig bleiben und sich selbst bei starker Reduzierung länderübergreifend wiederholen.

## Literaturverzeichnis

|        |  |
|--------|--|
| [1-1]  | Pegels, Anna: Wachstum in Entwicklungsländern durch internationalen Technologietransfer<br>Berlin: logos Verlag (2007), ISBN 978-3-8325-1760-1   |
| [1-2]  | UNDP United Nations Development Programme: <a href="http://www.undp.org">www.undp.org</a>  |
| [1-3]  | Mondialogo Engineering Award 2004<br><a href="http://www.bauinformatik.uni-wuppertal.de/presse/MONDIALOGO2004BUW.pdf">http://www.bauinformatik.uni-wuppertal.de/presse/MONDIALOGO2004BUW.pdf</a>   |
| [1-4]  | Sadre Ghazi, Shuan: Saraman: Affordable Earthquakesafe Schools and Housing,<br><a href="http://www.growinginclusivemarkets.org/media/cases/Iran_Saraman_2011.pdf">http://www.growinginclusivemarkets.org/media/cases/Iran_Saraman_2011.pdf</a> |
| [1-5]  | Pegels, G.: Euro-islamischer Dialog im Fachbereich Bauingenieurwesen<br>In: vision, Heft 3, Bergische Universität Wuppertal, Fachbereiche Architektur und Bauingenieurwesen (2003)   |
| [1-6]  | Pegels, G.: Vision einer Krisenprävention „Made in Germany“<br>-Hochtechnologie für das Bauen im Iran-<br>In: Vision, Heft 6, Bergische Universität Wuppertal, (2004)  |
| [1-7]  | Pegels, G. und Doktoranden<br>Erdbebensichere Fachwerkhäuser für Entwicklungsländer<br>In: Vision, Heft 7, Bergische Universität Wuppertal, (2007)   |
| [1-8]  | Girmscheid, G.: „Neue unternehmerische Strategien in der Bauwirtschaft – Systemanbieterwettbewerb und virtuelle Unternehmen“, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, (1997)   |
| [1-9]  | Pegels, G.: Hochtechnologie für das Bauen im Iran – Vision einer Krisenprävention „Made in Germany“<br>In: vision Beiträge aus Architektur und Bauingenieurwesen, Heft 4, S. 33ff<br>Bergische Universität Wuppertal (2004)                    |
| [1-10] | Dadam, S., Pegels, G.: Alumni-Sommerschule Iran/Deutschland in Wuppertal<br>In: vision Beiträge aus Architektur und Bauingenieurwesen, Heft 4, S. 36ff<br>Bergische Universität Wuppertal (2004)   |
|        |  |
| [2-1]  | Samsamshariat, M.: Vulnerability of Predominant Building Types in Iran<br>Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, Bauhaus-University Weimar (2005)  |
|        |  |
| [3-1]  | Azhari, M., Mirgaderi, R.: Design of Steel Structures (Volume 3, Connections)<br>Organ Danesh (2004)   |
|        |  |
| [4-1]  | Eslimy-Isfahany S.H.R.; Pegels, G.: Low-Rise Buildings in Seismic Hazardous Regions<br>Conference paper Al-Azhar University, Cairo (2007)  |
| [4-2]  | Eslimy-Isfahany S.H.R.; Pegels, G.: Earthquake-Resistant Housing for Developing Countries<br>Humboldt kosmos 90/2007, S. 34 - 37   |

|        |   |
|--------|---|
| [4-3]  | Pegels, G.; Mahran, E.: Stahlfachwerkbauweise weltweit, die Lösung für erdbebensicheres Wohnen<br>In: Festschrift Rolf Kindmann, Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum, Heft 2007-6, Shaker Verlag, S. 331 - 341                        |
| [4-4]  | Eslimy-Isfahany, H., Pegels, G.: Seismic-Proof Housing: Reconstruction in Rural Areas<br>In: Post-Desaster Reconstruction – Meeting Stakeholder Interests, Firenze University Press (2007)  |
| [4-5]  | Samsamshariat, M.: Product development of earthquake-safe houses and schools<br>Dissertation Bergische Universität Wuppertal (2009)   |
| [4-6]  | Asmaz Enerji İletişim İnşaat © (2009)<br><a href="http://www.ahsapeval.com/icerik/neden-ahsap-karkas-evler">http://www.ahsapeval.com/icerik/neden-ahsap-karkas-evler</a>  |
| [4-7]  | Pegels, Georg: Programmsystem Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung im Stahlbau<br>In: Technisch - wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr - Universität Bochum, TWM 75 - 10 (1975)<br>Dissertation Ruhr-Universität Bochum (1975) |
| [4-8]  | Jungbluth, O., Pegels, G., Zwanzig, W.: Konzept für Entwurf und Fertigung im Stahlbau<br>Einführungsbericht und Vortrag zum Symposium der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau IVBH in Prag (1971)  |
| [4-9]  | Jungbluth, O., Pegels, G.: Projektierung flexibler Fertigungssysteme für den Stahlbau<br>Forschungsbericht des Instituts für Statik und Stahlbau, Fachbereich 14, TH Darmstadt (1976)   |
| [4-10] | Roik K., Pegels G.:<br>Der Interaktive Konstruktionsplatz, ein Weg zur Rationalisierung im Stahlbau<br>In: Das moderne Stahlbauunternehmen, Wandlungen in Entwurf und Konstruktion, Fachsitzung II des Deutschen Stahlbautags in Stuttgart<br>Stahlbau - Verlags GmbH, Köln (1977)        |
| [4-11] | Pegels G., Isselmann K., Kammertöns U., Schwan B.:<br>Programmsystem Rechnergestütztes Fertigen im Stahlbau<br>Technisch - wissenschaftliche Mitteilungen des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum, TWM 79 - 4 (1979)                                     |
| [4-12] | Pegels G., Schwan B.:<br>Erfahrungen mit der Anwendung des Programmsystems BO-ROIK (CAD - Projekt Ruhr - Universität Bochum) bei Firma Goldbeck-Bau in Bielefeld<br>Berichte des DStV - Arbeitsausschusses EDV,<br>Stahlbau - Verlags GmbH, Köln, EDV - Berichtsheft Nr. 4 (1979)         |
| [4-13] | Pegels, G.: Programmsystem Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung im Stahlbau<br>In: Das Projekt CAD auf der SYSTEMS '79, Vortrag und Tagungsband zur Systems - Messe in München vom November 1979<br>Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, KfK - CAD E7 (1979)       |

|        |  |
|--------|--|
| [4-14] | Pegels, G.: Praktische Einführung in Rechnergestütztes Konstruieren und Fertigen im Bauwesen (Schwerpunkt Stahlbau)<br>Internationales Seminar gleichen Themas am 29. und 30. Mai 1980 in Wien, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der Technischen Universität Wien in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Stahlbauverband und der Österreichischen Computergesellschaft, Wien (1980) |
| [4-15] | Pegels G.: Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung im Stahlbau, Stand April 1980<br>In: CAD - Berichte, CAD im Stahlbau. Tagungsband Haus der Technik, Essen, 5. Mai 1980, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, KfK - CAD 161 (1980)   |
| [4-16] | Pegels, G.: Successful Day-to-day Use of CAD/CAM in the Steel Construction Industry<br>In: CAD in Medium Sized and Small Industries, Proceedings of the First European Conference on Computer Aided Design in Medium Sized and Small Industries, MICAD 80, Paris (1980)  |
| [4-17] | Pegels, G.: Einsatz und Auswirkungen neuer Technologien im Konstruktionsbereich - Systematisierung oder Automatisierung der Kopfarbeit?<br>In: Reihe Gemeinsame Veranstaltungen Ruhr - Universität Bochum und IG Metall Bildungszentrum, Sprockhövel, Heft 6 (1981)  |
| [4-18] | Pegels, G.: Fertigungsplanung und -steuerung einer Fließfertigung für mittelständischen Stahlbau<br>In: Entwicklung einer Fließfertigungs-ausrüstung für den mittelständischen Stahlbau, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK - PFT -E1 (1981)   |
| [4-19] | Pegels, G.: Integrierte CAD-Anwendung in mittelständischen Stahlbauunternehmen<br>In: VDI - Berichte Nr. 413 "Datenverarbeitung in der Konstruktion '81, Fachbereich Konstruktion", VDI - Verlag GmbH, Düsseldorf (1981)   |
| [4-20] | Pegels, G.: Fließfertigung in Stahlbau - Unternehmen<br>In: Entwicklung einer Fließfertigungs-ausrüstung für den mittelständischen Stahlbau, Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK - PFT-E 10 (1982)  |
| [4-21] | Pegels, G.: CAD - Einsatz in europäischen Stahl- und Holzbauunternehmen<br>In: VDI - Berichte Nr. 492, Düsseldorf (1983)   |
| [4-22] | Pegels, G.: Stahlbau, Anlagenbau, Holzbau - CAD/CAM vom Entwurf bis zum Versand -<br>In: CAD CAM Zeitschrift für Computer - Anwendungen in der Entwicklung, Konstruktion, Planung und Fertigung; München, Dezember 1983, 2. Jahrgang Nr. 6 (1983)  |
| [4-23] | Pegels, G.:<br>La pratique quotidienne de la CAO/FAO dans la construction métallique<br>CAD/CAM in der Alltagspraxis des Stahlbaus<br>Day-to-day application of CAD/CAM in the steel construction industry<br>In: acier - stahl - steel, CBLIA, Brüssel, Heft 1/1984   |
| [4-24] | Pegels, G.: Zur Zukunft des Stahlbaus, Evolution durch CAD/CAM<br>In: Festschrift Prof. K. Roik, (S. 91 bis 100) Ruhr - Universität Bochum (1984)  |

|        |  |
|--------|--|
| [4-25] | Pegels, G.: Zukunftsgedanken zu rechnergestützten Konstruktionsmethoden<br>In: Das moderne Stahlbauunternehmen, Einsatzmöglichkeiten der EDV beim Technologietransfer.<br>Stahlbau-Verlagsgesellschaft, Köln (1988) ISBN 3-923726-27-9   |
| [4-26] | Pegels G., Koch H.-D.:<br>CAD/CAM - Expertensystem für Schweißkonstruktionen im Anlagenbau<br>Schlußbericht zum AIF Forschungsvorhaben 6974 der Forschungsvereinigung Schweißen und Schneiden e.V., DVS-Verlag Düsseldorf (1989)   |
| [4-27] | Pegels, G.: Einsatz von CAD/CAM<br>In: Schweißtechnisches Jahrbuch (1990) 134-138<br>DVS-Verlag, Düsseldorf, ISBN 3-87155-718-8  |
| [4-28] | Pegels, G.:<br>Lösung von Konstruktionsaufgaben der Schweißtechnik durch den Computer<br>In: EXPERT '91 Berechnung, Gestaltung und Fertigung von Schweißkonstruktionen im Zeitalter der Expertensysteme<br>DVS-Verlag, Düsseldorf (1991) 4-8, ISBN 3-87155-438-3                             |
| [4-29] | Pegels, G., Huhn, M., Koch, A.: Praxiserfahrungen mit vernetzt-kooperativen Planungsprozessen an Bauprojekten des Stahl-, Holz- und Glasbaus und ihre Forschungskonsequenzen<br>VDI-Tagung „Bauen mit Computern – Kooperation in IT-Netzwerken“, 11./12. April 2002, Bonn; VDI Verlag (2002) |
| [4-30] | Pegels, G.:<br>Experience with Network-based Co-operative Design and Detailing Processes<br>In: Proceedings of the Seminar on “Information Technology in Civil Engineering and its Applications”, May 19 – 20, 2002, Building and Housing Research Center, Tehran, I.R. Iran                 |
|        |  |
| [5-1]  | Statistisches Bundesamt, <a href="http://www.bauindustrie.de">http://www.bauindustrie.de</a> (2009)  |
| [5-2]  | Jansen, U.: Werkzeuge und Methoden intelligenter Benutzeroberflächen<br>Dissertation Bergische Universität – GH Wuppertal (1993)   |
|        |  |
| [6-1]  | Fischer, W.: Innovation der Kleinbetriebe des Metallbaus<br>Dissertation Bergische Universität Wuppertal (2006)  |
|        |  |
| [7-1]  | Pirzadeh, D., Zafarani, E., Raissi Ardali, G.A.: Innovative Total Cost-Based Design of Construction Projects, a German Lesson<br>7th International Industrial Engineering Conference 2010, Isfahan University of Technology, Iran (2010)   |
| [7-2]  | Pegels, G., Parvizian, J., Eghdam, A.: Industrial Engineering: A Success Story in Germany, a Good Chance for Iran - Case Study Sports Hall Isfahan<br>7th International Conference Industrial Engineering, Isfahan University of Technology, Iran (2010)                                     |