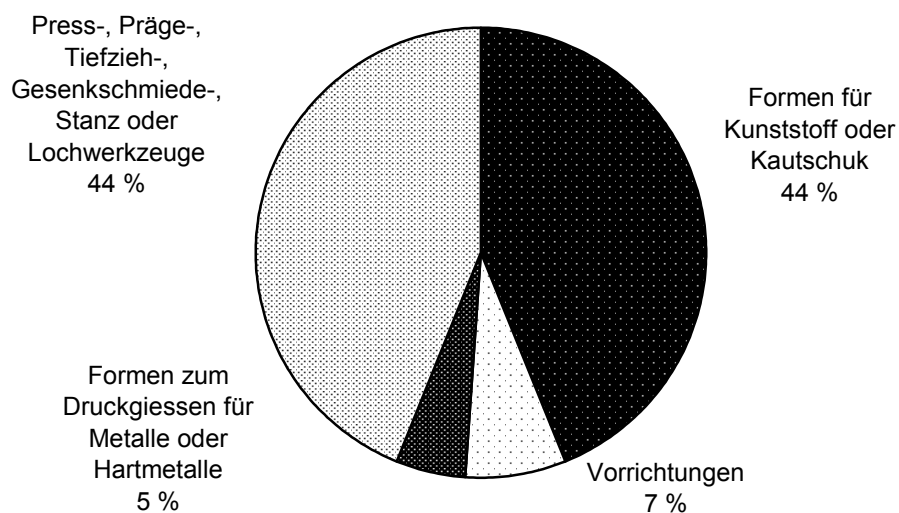


1 Einleitung

Innerhalb industrieller Wertschöpfungsketten nimmt der Werkzeug- und Formenbau als Zulieferer für die Automobil-, Konsumgüter-, Luftfahrt- und Elektroindustrie eine Schlüsselstellung ein [NEU 00]. Charakteristisch für die Branche ist die Prägung durch kleine und mittlere Unternehmen. So verfügen nach Schätzung des VDMA etwa 80 % der etwa 5000 in Deutschland ansässigen Unternehmen über weniger als 20 Mitarbeiter [VDMA]. Die Branche erzielte dabei allein in Deutschland einen Jahresumsatz (2004) von 5,4 Mrd Euro [Fri 05]. Über 40 % des in Deutschland erzielten Werkzeugbauumsatzes entfallen dabei auf Formen für Kunststoff- oder Kautschukerzeugnisse [vgl. Abb. 1.1].



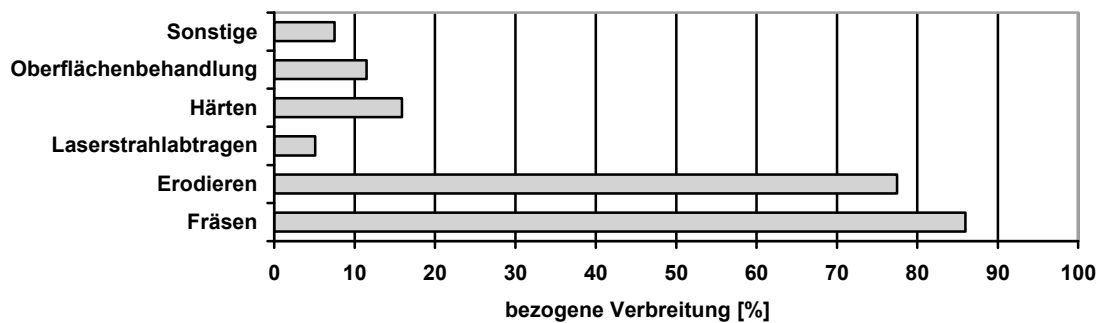
Quelle: Amtliche Deutsche Produktionsstatistik 2005

Abbildung 1.1: Struktur der Anwendungen für den deutschen Werkzeugbau im Jahr 2004

Hierbei wird eine Hohlform (Kavität) für die Herstellung von mehreren 100.000 Endprodukten verwendet. Der Kostenanteil für die Werkzeuge kann zwischen 5 % [VDMA] und 30 % [EVE 98] der gesamten Produktionskosten eines Enderzeugnisses betragen. Gleichzeitig werden durch die konstruktive Gestaltung und die fertigungstechnische Umsetzung der Werkzeugform bis zu 90 % der Profitabilität der Enderzeugnisse beeinflusst

[VDMA]. Der an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion befindliche Werkzeugbau stellt damit eine entscheidende Größe für den wirtschaftlichen Erfolg des herzustellenden Erzeugnisses dar [Scf 04]. Das Maß des wirtschaftlichen Erfolgs einer Werkzeugform und damit auch der beteiligten Unternehmungen hängt jedoch entscheidend von der strategischen Ausrichtung der Unternehmensprozesse ab [Sch 05]. Die Herausforderung besteht in der Erfüllung unterschiedlicher und häufig konträrer Zielgrößen im Spannungsfeld aus Zeit, Qualität und Kosten.

Die stetige Optimierung dieser Zielgrößen hat in der Fertigung dazu geführt, dass die organisatorisch, technologisch und wirtschaftlich anspruchsvolle Herstellung von Werkzeugformen heute nur von einer sehr begrenzten Anzahl von Verfahren beherrscht wird. Anhand einer stichprobenartigen Erhebung in ca. 180 deutschen Werkzeugformenbauunternehmen lässt sich eine Signifikanz hinsichtlich der eingesetzten Verfahren ableiten. Demnach dominieren bei den eingesetzten Fertigungsverfahren zur Herstellung von Kavitäten die Fräsbearbeitung (> 85 %) und das Erodieren (> 75 %). Die Laserstrahlabtragbearbeitung und sonstige Verfahren spielen mit einem Verbreitungsgrad von < 5 % bzw. < 8 % zurzeit noch eine untergeordnete Rolle [WZF 05].



**Abbildung 1.2: Häufigkeit von Fertigertechnologien im Werkzeug- und Formenbau
[nach WZF 05]**

Vor diesem Hintergrund kommt der Fertigung von Kavitäten für Spritzgussformen, dem Fräsen und dem Erodieren eine besondere Bedeutung zu. Dabei ist der Begriff der Fertigungsprozesskette im Werkzeugbau keineswegs eindeutig. Vielfach werden hierunter zwar Erodier- und Fräsprozesse verstanden. Die Verfahren reichen allerdings von der ausschließlichen Senkerodier- und Fräsbearbeitung – Senkerodierelektroden werden dabei oftmals durch Fräsen hergestellt – bis hin zur kombinierten Bearbeitung des Konturvorfrens und des Schlichterodierens [vgl. Abbildung 1.3]. Tatsache ist, dass diese aufgezeigten

Prozessschritte auch an einem Hochlohnstandort wie Deutschland zu einem großen Teil manuell vor- und nachbereitet [DAM 05] werden müssen. Deshalb liegt auch der Anteil der Personalkostenquote deutscher Werkzeugbauunternehmen bei durchschnittlich 45 % und zum Teil sogar über 50 %, was im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen wie z.B. der Automobilindustrie (ca. 30 %) eine besonders hohe Quote darstellt [VDMA].

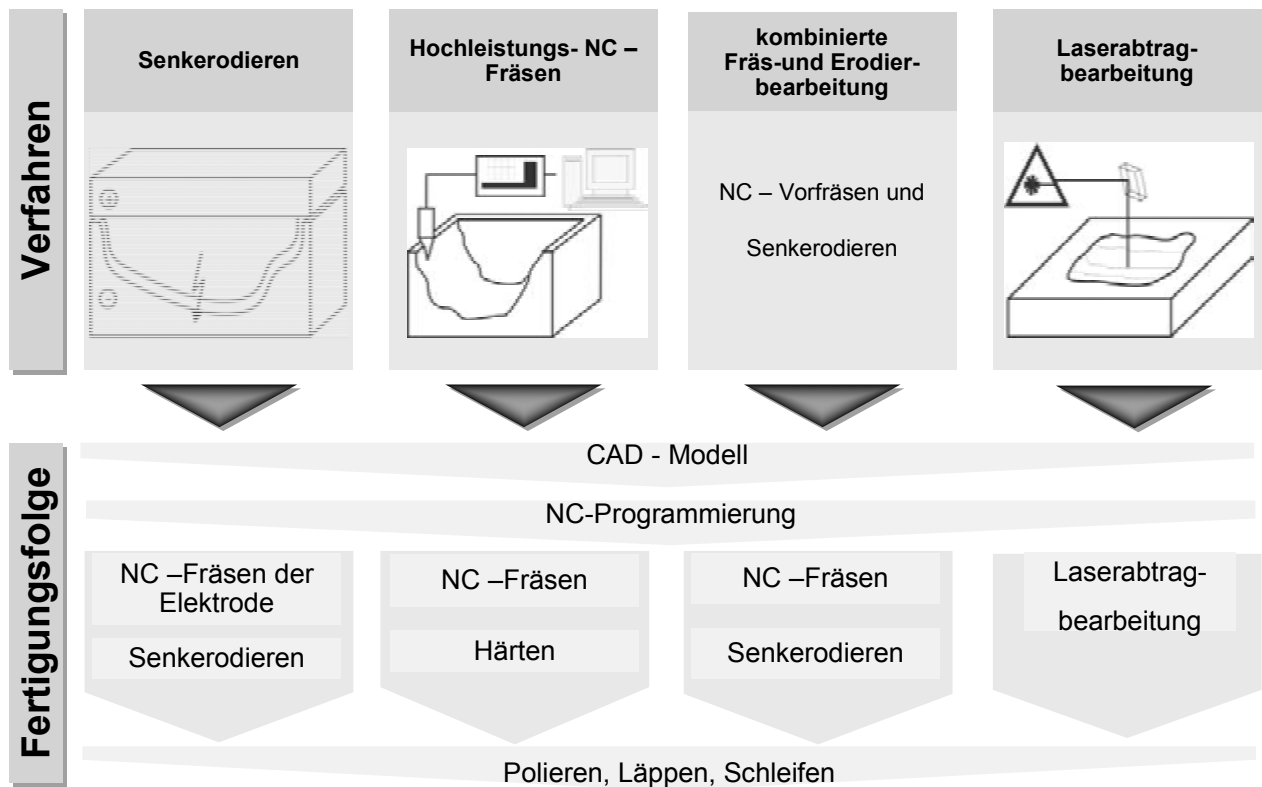


Abbildung 1.3: Fertigungsprozessketten zur Herstellung von Werkzeugformen

Aufgrund der ökonomischen Zwänge zur Reduzierung der Time-to-Market [vgl. Kapitel 2.ff.] einerseits sowie zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit [vgl. Kapitel 2.ff.] andererseits steigt der Bedarf zur Rationalisierung der Fertigung von Werkzeugformen überproportional an. Die Konsequenz ist, dass viele der überwiegend kleinen Werkzeug- und Formenbauer trotz ihrer hohen technologischen Kompetenz an die Grenzen ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit stoßen. Erschwerend kommt hinzu, dass der Wettbewerb – insbesondere aus Osteuropa und Asien deutlich zugenommen hat und aufgrund der hiesigen Lohnkosten nur durch Technologieführerschaft zu gewinnen ist [Klo 06].

Gefragt sind zukünftig daher deterministische Bearbeitungsverfahren mit einem hohen Automatisierungsgrad, um einerseits den Anteil der Lohnkosten an den Herstellkosten von

Werkzeugformen weiter zu senken und andererseits die Durchlaufzeit der Fertigung von Werkzeugformen und damit die „Time-to-Market“ zu reduzieren. In diesem Zusammenhang kann die Laserstrahlabtragbearbeitung einen wertvollen Beitrag liefern. Gefordert ist jedoch ein Laseranlagenkonzept, welches im Spannungsfeld aus Zeit, Qualität und Kosten einer optimierten Aufstellung der gesamten Fertigungsprozesskette im Werkzeugbau dient.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher, unter Berücksichtigung technologischer und wirtschaftlicher Randbedingungen ein konkurrenzfähiges Anlagenkonzept für die Laserstrahlabtragbearbeitung von Werkzeugformkavitäten herzuleiten. Grundlage hierfür ist zum einen ein ganzheitliches Verständnis der technischen und ökonomischen Anforderungen und Zusammenhänge des Werkzeugbaus sowie zum anderen der Technologie des Laserstrahlabtrags. Durch den Transfer ökonomischer Anforderungen des Werkzeugbaus in spezifische Parameter der Laseranlagensteuertechnik sollen die wesentlichen Stellgrößen zum wirtschaftlichen Einsatz des Laserstrahlabtrags identifiziert werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse erfolgt eine Überführung der relevanten Stellgrößen in ein geeignetes Anlagenkonzept zum wirtschaftlichen Laserstrahlabtrag von Werkzeugformkavitäten.

2 Analyse- und Bewertungskriterien im Werkzeug- und Formenbau

An Unternehmen im Allgemeinen und damit auch an Betriebe der Werkzeug- und Formenbaubranche im Besonderen werden in der Regel aus zwei Hauptinteressengruppen kommende Forderungen gestellt. Bei der Gruppe mit den größten direkten Einflussmöglichkeiten handelt es sich um die Kapitalgeber, die das für den Betrieb des Unternehmens notwendige Kapital zur Verfügung stellen und eine Maximierung des wirtschaftlichen Erfolges einfordern. Die Erwirtschaftung von Gewinnen ist damit originäre Grundaufgabe aller marktwirtschaftlich geführten Unternehmungen, dementsprechend zahlreich sind die Untersuchungen hierzu in der Literatur. Während z.B. Pollack als Maß für die Wirtschaftlichkeit die Kapitalrentabilität angibt [Pol95], ergänzt Moron [Mor 98] diese ökonomische Zielgröße durch die strukturelle Liquidität und ordnet dieser Umsatzrentabilität und Kapitalumschlag unter. Unter Wirtschaftlichkeit wird im Folgenden und vereinfachend der Quotient vom Ertrag zum Aufwand verstanden, der damit idealerweise größer 1 ist. Die betriebswirtschaftliche Umsetzung im Unternehmen erfolgt durch das Maximum- und Minimumprinzip, was bedeutet, dass bei geringstem Aufwand an Produktionsfaktoren der größtmögliche Güterertrag angestrebt wird. Auf den Werkzeugbau bezogen bedeutet das etwa eine Maximierung der Werkzeugerlöse bei gleichzeitiger Reduzierung der Selbstkosten [Eve 98].

Darüber hinaus stellen die Kunden eine zweite wesentliche Interessengruppe des Werkzeug- und Formenbaus dar. Die Zufriedenheit des Kunden und damit seine Bereitschaft, die Werkzeugform eines Zulieferunternehmens zu einem bestimmten Preis zu beziehen, hängt davon ab, inwieweit die Leistungen des Unternehmens die zu identifizierenden Kundenanforderungen erfüllen. Eine Differenzierung der Bedürfnisse und Wünsche des Kunden kann nach dem KANO-Modell in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsfaktoren erfolgen. Die Erfüllung von Forderungen aus den drei Kategorien bewirkt beim Kunden einen völlig unterschiedlichen Grad der Zufriedenheit. Während Basisanforderungen aus Sicht des Kunden dem Stand der Technik entsprechen oder selbstverständlich sind, werden diese stillschweigend vorausgesetzt. Eine alleinige Erfüllung dieser Forderung reicht aber noch

nicht aus, um das Ziel der Kundenzufriedenheit zu erreichen. Die Leistungsforderung kann das Maß der Kundenzufriedenheit verstärken, je ausgeprägter das entsprechende Merkmal erscheint. Die so genannten Begeisterungsfaktoren schließlich charakterisieren den eigentlichen Unterschied (Alleinstellungsmerkmal) zwischen konkurrierenden Produkten. Sie verschaffen dem Kunden einen Wettbewerbsvorteil und er ist bereit, hierfür einen höheren Preis zu entrichten [ASI 89]. Heruntergebrochen auf die Werkzeugproduktion, lassen sich folgende Kundenanforderungen dem KANO-Modell zuordnen [Dan 02, BRA 91]:

- Qualität der Erzeugnisse = Basisfaktor
- Produktivität der Erzeugnisherstellung = Leistungsfaktor
- Time-to-Market¹ = Begeisterungsfaktor

Werden die Zielsetzungen der beiden Hauptinteressengruppen verglichen, so handelt es sich zunächst um einen Zielkonflikt. Das Streben nach Maximierung des wirtschaftlichen Erfolges der Werkzeugbauunternehmungen, durch minimale Selbstkosten hohe Erlöse für Werkzeuge zu erzielen, steht im direkten Widerspruch zur Forderung nach einer Maximierung des Werkzeugnutzens bei minimalen Kosten für den Betrieb und die Anschaffung der Werkzeugformen.

In der Praxis bedeutet dies, dass die Unternehmen häufig bestrebt sind, einen Kompromiss zwischen den beiden Zielrichtungen Wirtschaftlichkeit und Kundennutzen zu finden. In diesem Zusammenhang wird von Eversheim vorgeschlagen, den Interessenkonflikt durch Gewichtung der konkurrierenden Zielsetzungen und eine daran gekoppelte strategische Ausrichtung des Werkzeugbaus zu erreichen [EVE98]. Die daraus abgeleiteten generischen Strategien werden durch die von Porter eingeführten Begriffe der Technologieführerschaft bzw. Differenzierung und Preisführerschaft geprägt [Por 92]. Die Technologieführerschaft ist dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungs- und Begeisterungsmerkmale im Sinne des Kano-Modells ausgeprägter sind als beim Wettbewerb, was in den Absatzmärkten durch höhere Kaufpreise honoriert wird. Übertragen auf Werkzeugformen würde eine

¹ Nach Matys bezeichnet Time-to-Market die erste Phase innerhalb eines Produktlebenszyklusses. Es handelt sich hierbei um die Zeitspanne von der Produktidee bis zur Einführung dieses Produktes auf dem Absatzmarkt [Mat05]. Im vorliegenden Fall gilt dieser Begriff für die mit der Werkzeugform zu erstellenden Erzeugnisse deren Markteintritt zum richtigen Zeitpunkt und mit ausreichender Stückzahl sichergestellt werden muss.

Technologieführerschaft entstehen, wenn bei ansonsten gleicher Werkzeugqualität und Werkzeugproduktivität eine kürzere Time-to-Market realisiert werden kann, wodurch sich ein deutlich höherer Verkaufspreis der Werkzeugform im Absatzmarkt erzielen ließe. Die Gefahr dieser Strategie liegt jedoch zum einen darin, dass die Differenzierung aus Sicht des Kunden das Kostenelement zu stark außer Acht lassen kann. Zum anderen können die zusätzlichen Leistungselemente (Alleinstellungsmerkmale) in ihrer Wahrnehmung vom Kunden nicht die angestrebte Wertschätzung (Begeisterung) erfahren. Das Ergebnis kann ein für das Unternehmen ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis sein, das sich unter Umständen als wettbewerbsunfähig erweisen kann [Sch 05]. Die Preisführerschaft zielt auf den gegenteiligen Effekt, nämlich Werkzeugformen zu einem vergleichsweise geringen Preis auf den Absatzmärkten anzubieten, während vornehmlich nur die Basisanforderungen – wie z.B. die erzielbare Erzeugnisqualität der Werkzeugform – erfüllt sind. Um auch bei Preisführerschaft wirtschaftlich arbeiten zu können, setzt diese Strategie entsprechend geringe Selbstkosten voraus. Aufgrund der typischen Kostenstruktur der Werkzeugformherstellung, bei der in Deutschland bis zu 50 % der Herstellkosten auf Löhne und Gehälter entfallen [VDMA], ist das strategische Segment der Preisführerschaft aufgrund der Lohnkostenstruktur jedoch in der Regel osteuropäischen und asiatischen Werkzeugbauunternehmen vorbehalten.

Eine Marktpositionierung in Deutschland hergestellter Werkzeugformen im Bereich der Technologieführerschaft ist demnach in Ermangelung anderer Alternativen unausweichlich. In Anbetracht der damit verbundenen Risiken zu hoher Kosten und vom Markt nicht honorierter Qualitätsmerkmale bietet sich eine parallele Implementierung eines umfassenden Qualitätsmanagements innerhalb der Formenbauunternehmen an. Während die traditionelle Perspektive des Qualitätsmanagements vor allem ergebnisorientiert war und damit die Prüfung der Ergebnisse im Mittelpunkt stand (Input-/Outputorientierung), integrieren neue Qualitätskonzepte weitere Qualitätsdimensionen [Pfe01]. Durch umfassendere Qualitätskonzepte lassen sich auch bei niedrigeren Entwicklungs- und Produktionskosten kürzere Entwicklungs- und Durchlaufzeiten realisieren [Hum97]. Der Umfang des gesamten Qualitätsmanagements wird deutlich, wenn man sich die Ziele des von der European Foundation for Quality Management (EFQM) ausgelobten Qualitätspreises in Form des

EFQM-Modells² vergegenwärtigt [vgl. Abbildung 2.1]. Es besteht aus neun Hauptkriterien und gliedert sich in die beiden Gruppen „Befähiger“ und „Ergebnisse“, welche gleichwertig mit jeweils 50 % der erreichbaren Punkte in die Unternehmensevaluierung eingehen. Die Ergebniskriterien befassen sich damit, was das Unternehmen an Leistungen hervorbringt, während die Befähiger-Kriterien ein Maß dafür darstellen, wie diese Ergebnisse erreicht werden. Wie in Abbildung 2.1 dargestellt ist, fließen hierzu mit einem Anteil von 14 % die Geschäftsprozesse des Unternehmens in die Bewertung ein und fokussieren auf Strukturen, Effektivität und Effizienz der dort beschriebenen Kernprozesse. Daneben wird jedoch auch ein großes Gewicht auf die explizite Analyse des Managements, der Mitarbeiter, Unternehmenspolitik und Strategie sowie die im Umfeld des Unternehmens gebildeten Partnerschaften und Ressourcen gelegt [EFQM].

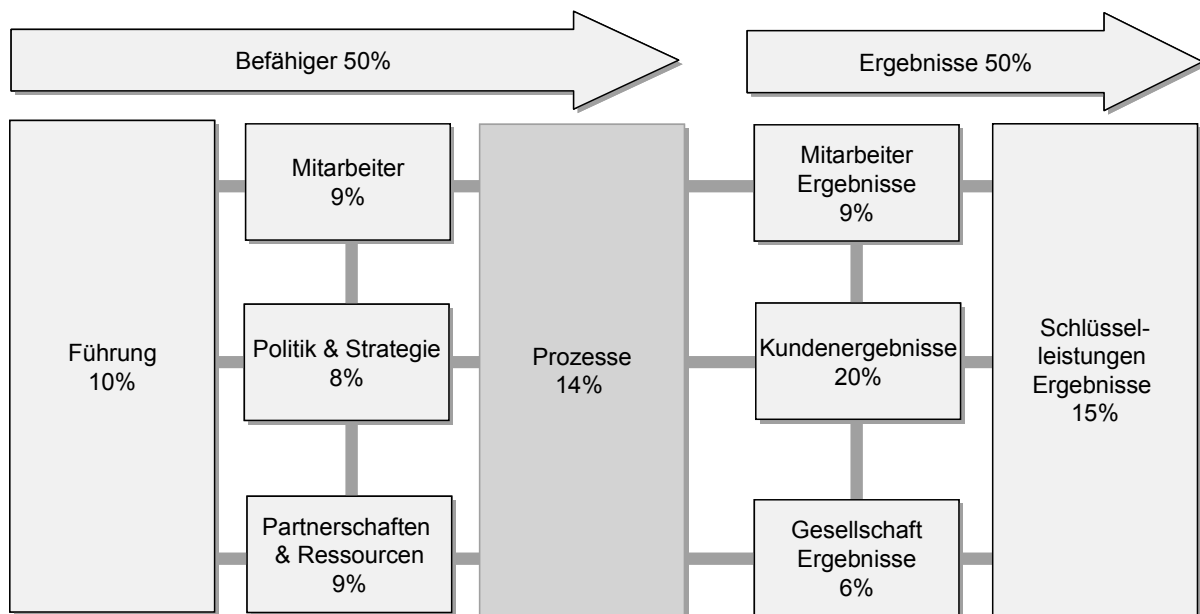


Abbildung 2.1: Bewertungskriterien des European Quality Award [EFQM]

Dass die Umsetzung eines EFQM-Konzepts keineswegs dem Selbstzweck dient, sondern eng mit dem Ziel der Wirtschaftlichkeit verbunden ist, wird von Studien belegt. So konnten beispielsweise die Gewinner verschiedener analoger amerikanischer Qualitätspreise ihre operativen Gewinne in einem Zeitraum von fünf Jahren durchschnittlich um 91 % steigern. Damit lagen sie 48 % höher als ausgewählte Vergleichsunternehmen. Die Umsatzrentabilität

² Das EFQM-Modell für Business Excellence wurde 1991 als Rahmenrichtlinie für organisatorische Selbsteinschätzung und als Basis für den "European Quality Award" eingeführt und dient als Richtlinie und Bewertungssystem für die Einführung und Umsetzung von ganzheitlicher Qualitätssicherung (TQM) [EFQM].