

ANWENDUNG DES AEM VERFAHRENS IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

Fejes Elemér, Günter Höhne, Bercsey Tibor

Zusammenfassung

Die Montage hat in der heutigen Zeit eine Schlüsselstellung für zukünftige Rationalisierungen. Für ein kostengünstiges Produkt werden die Weichen bereits bei der Konstruktion gestellt. Die Konstrukteure verfügen über unterschiedliche Werkzeug, um montagegerecht zu konstruieren. Sie brauchen aber auch ein Bewertungsverfahren, welches schon in der Entwurfphase die Montagefreundlichkeit aufzeigt. Die bereits existierenden Analysen (DfMA, DfA usw.) werden verglichen und die Anwendung des Assemblability Evaluation Method (AEM-Verfahrens) in der Praxis beschrieben. Im allgemeinen wird es in der Entwurfsphase angewendet. Es ermöglicht aber auch die nachträgliche Erstellung eines Produktportfolios. Der Beitrag soll die Stärken und Schwächen von AEM aufzeigen. Darüber hinaus werden zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten (z.B. Produktportfolio) und Vorschläge zur Weiterentwicklung präsentiert.

1 Einleitung

Die Montage bildet im Fertigungsablauf den letzten Abschnitt einer langen Kette der Produktherstellung im Unternehmen und sorgt dafür, dass das Produkt seine volle Funktionsfähigkeit aus Einzelteilen und Baugruppen erhält. Erst in den letzten Jahren rückte die Erkenntnis in den Vordergrund, dass vor allem die Montage eine Schlüsselstellung für Rationalisierungspotentiale einnimmt. Da alle Produktionsprozesse auch mit dem Bewegen oder Handhaben von Werkzeugen und Teilen verkettet sind, werden heute immer mehr Handhabungsmaschinen bis hin zum hochleistungsfähigen Industrieroboter entwickelt und in die Produktion integriert. Die Weichen für ein kostengünstiges Produkt werden aber bereits im Konstruktionsbereich gestellt, da hier weitgehend die Montage des späteren Produkts festgelegt wird. Bild 1. zeigt, dass man in der Arbeits- oder Fertigungsvorbereitung nur noch ca. 10% der Produktkosten etwa durch zweckmäßigen Fertigung- und Montageablauf beeinflussen kann.

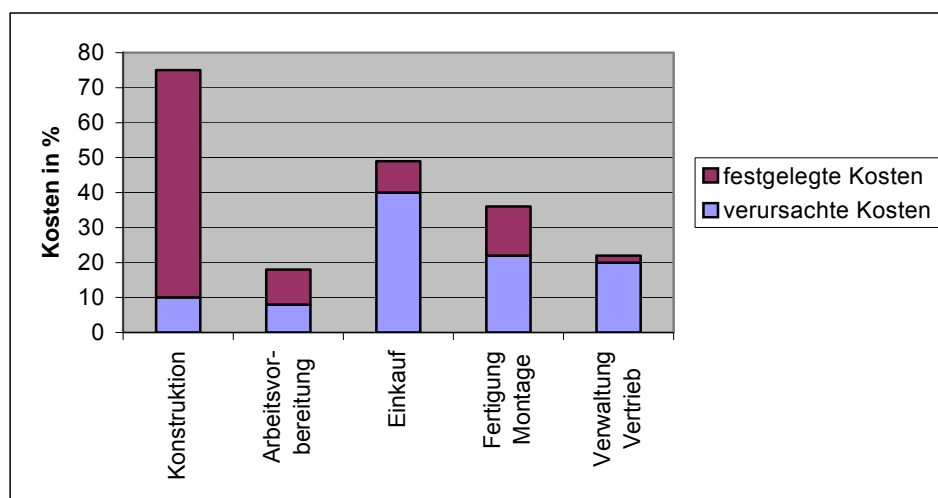
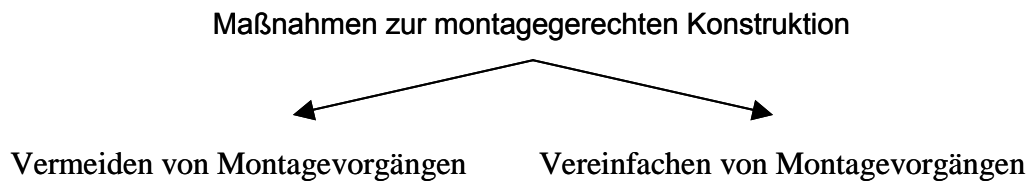


Bild 1: Kostenfestlegung und Kostenverursachung im Unternehmen [nach 1]

2 Stand der Technik

Alle Bemühungen des Konstrukteurs bzw. der fertigungsvorbereitenden Abteilung, eine wirtschaftliche Montage zu erreichen, basieren auf den folgenden zwei Grundsätzen:

- Die Montageoperation sind so einfach wie möglich zu gestalten.
- Die Anzahl der Montageoperation ist auf ein Minimum zu reduzieren, falls möglich sollte keine nötig sein.



2.1 Automatisierungs- und montagefreundliche Produktgestaltung

Das Ziel besteht in der Senkung der Handhabeanforderungen in der Montage. Dies kann z.B. erreicht werden durch kompakte Gestaltung der Elemente, Vermeiden sich verhakender und zusammengesetzter Formteile. Die Elemente sollen Orientierungshilfen und tastbare Merkmale an der Außenkontur haben, sowie eine einfache Geometrie der Greifelemente bzw. Punkte. Weitere Regeln sind: Eindeutigkeit durch Symmetrie oder klar erkennbare Asymmetrie, funktionsgerechte Passungen und montagegerechte Maßketten [2].

Zusammenhang zwischen automatisierungs- und montagegerechte Konstruktion:

$$\begin{array}{ccc} \text{Automatisierungsgerechte} & ? & \text{montagegerechte} \\ \text{Produktgestaltung} & = & \text{Konstruktion} \end{array}$$

Es ist festzustellen, dass mitunter automatisierungsgerechtes Gestalten und montagegerechten Konstruieren gleichgesetzt werden.

Dabei sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

Montagegerechtes Gestalten ist das bewusste und systematische Einbeziehen von konstruktiven Maßnahmen während des Konstruktionsprozesses mit dem Ziel, in einem bestimmten Zeitabschnitt den Zusammenbau eines Produktes mit minimalen Aufwand zu ermöglichen.

Wird ein Produkt so konstruiert, das es leicht manuell zu montieren ist, so kann es sehr wahrscheinlich auch leicht automatisch montiert werden.

Alle Richtlinien und Maßnahmen für die montagegerechte Konstruktion haben auch für die automatisierungsgerechte Produktgestaltung Gültigkeit. Sie werden nur um einige Punkte ergänzt, wie z.B. vermeide biegeschlaffe Teile oder das Handeln von Federn.

Montagegerechtes Konstruieren schließt automatisierungsgerechtes Konstruieren ein. Es läßt jedoch offen, ob die Möglichkeit zur Automatisierung genutzt wird und ob die Automatisierung wirtschaftlich ist.

2.2 Ziele und Regeln für Produkt- und Prozessgestaltung bei der Montage

Drei Schwerpunkte sollen besonders hervorgehoben werden:

a. Optimierung von Montagefunktionen

- Strebe einstufige Produkte an
- Vermeide zusätzliche Verbindungselemente
- Integriere Verbindungselemente in die Einzelteile/Baugruppen
- Nutze Snap-in-Verbindungen
- Schaffe Orientierungs- und Positionierhilfen [2].

b. Optimierung des Montage-Ablaufs

- Strebe eine Schicht- oder Nestbauweise des Produktes an
- Vermeide stark vernetzte Baugruppen
- Schaffe kurze Verbindungen zwischen Baugruppen
- Gliedere das Produkt in Funktionsbaugruppen
- Strebe wenige, möglichst nur eine Montagerichtung an
- Nutze standardisierte Einzelteile, Modulsysteme und Produktfamilien

c. Öko- / recycling freundliche Konstruktion

Die recyclinggerechte Konstruktion kann nach verschiedenen Kriterien unterteilt werden. Für das Produktrecycling besitzen Demontagegerechtheit, Zerlegungsgerechtheit, Lösbarerechtheit und Kennzeichnungsgerechtheit eine große Bedeutung. [3],[4]

Zur recyclinggerechten Konstruktion sind folgende Regeln zu nennen:

- Verschleißlenkung auf ausgewählte oder wertmäßig ungeordnete Bauteile
- Korrosionsschutz
- Gute Zugänglichkeit aller Bauteile
- Lösbare Verbindungen
- Standardisierung der Bauteile und Verbindungselemente
- Modularer Produktaufbau [5]

3 Die Bewertungsverfahren

Die Bewertung der Montagefreundlichkeit durch den Montageplaner bietet eine gute Möglichkeit die Schwachstellen des Produktes detailliert zu bestimmen [2].

Ein Verfahren, das den Zielvorstellungen einer montagegerechten Produktgestaltung gerecht werden will, muss mehrere Anforderungen erfüllen. Es sollte:

- die Montage möglichst vollständig erfassen,
- mögliche Schwachstellen aufdecken und gezielt herausstellen,
- eine einfache und schnelle Auswertung erlauben,
- wenn möglich sehr früh einsetzbar sein und eine einfache reproduzierbare Dokumentation ermöglichen.

Ausgehend von diesen Forderungen werden einige, für die montagegerechte Produktgestaltung anwendbare Bewertungsverfahren analysiert (Tabelle 1).

Anforderungen	Nutzwertanalyse	Abschätzverfahren*	DfA und DfMA	AEM Verfahren
Aufzeigen von Konstruktionsschwachstellen im Produktaufbau	+	+	+	+
Bestimmung geeigneter Fügereihenfolgen im Produktaufbau	+	+	+	+
Bestimmung der optimalen Fügereihenfolge	+	+	+	+
Anwendbarkeit schon in der Entwicklungsphase, wenn Detailzeichnungen, Toleranzen, usw. noch nicht vorliegen	-	+	+	+
Analysis der Teilereduzierung	-	-	+	+
Ermöglicht Kostenvergleich zw. Produkten	-	-	+	+
Einfacher Vergleich von Montagegraphen	-	-	+	+
Einfache Dokumentation der Ergebnisse	-	-	-	+
Schnelle Erlernbarkeit	-	-	-	+

* Abschätzverfahren und Checklisten + gut ; - schlecht

Tabelle 1: Vergleich von Bewertungsverfahren [6],[7],[8]

4 Was bietet das AEM-Verfahren?

Das von Hitachi entwickelte AEM-Verfahren (Assemblability Evaluation Method) stellt ein Bewertungsverfahren für die Montagegerechtheit von Produktkonstruktionen dar und bietet schnelle Erlernbarkeit, einfache Dokumentation usw. wie es die Tabelle 1 aufzeigt.

Durch die Anwendung des AEM-Verfahrens sollen schon in einer früheren Phase der Produktentwicklung die Anforderungen der Montage mit einfließen. Die Anwendung kann entwicklungsbegleitend sowohl bei Neuentwicklungen als auch beim Redesign von Produkten erfolgen.

4.1 Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens

Für das Arbeiten mit dem Bewertungsverfahren sind vorab noch einige verfahrensspezifische Definitionen zu erläutern, die teilweise von denen in der Fachliteratur abweichen.

Definitionen:

1. Montage: Alle Arbeitsgänge und Schritte zum Zusammenbau eines Produktes aus mindesten zwei Teilen
2. Montagevorgang: Abschnitt innerhalb der Montage zum Montieren eines Teils
3. Montageelement: Kleinstes Element eines Montagevorgangs wie Bewegen, Verbinden, Bearbeiten, Justieren uä.
4. Basisteil: Erstes Teil, welches bei der Montage auf den Montageplatz gelegt wird.

Um eine Transparenz des Verfahrens und dessen Ergebnisse zu erzielen, sind einige Voraussetzungen sowie die vorgeschriebenen Regeln zu beachten.

Es sollten Entwürfe, Zeichnungen oder Gerätemuster vor Beginn der Bewertungsarbeit bereitgestellt werden. In den vorbereiteten Bewertungsformularen mit Symboltabelle oder dem Dialogprogramm, muss die Fügereihenfolge bereits festgelegt sein. Es können aber dennoch verschiedene Fügereihenfolgen analysiert werden.

4.2 Beschreibung des Verfahrens

Das AEM-Verfahren analysiert das Fügen und Verbinden der Einzelteile zu Baugruppen bzw. zum gesamten Produkt. Basierend auf den Kenngrößen der Systeme vorbestimmter Zeiten, stehen hier 20 Symbole zur Beschreibung der Montageelemente zur Verfügung. Jedem dieser Symbole ist eine bestimmte Anzahl von „Strafpunkten“ (e) zugeordnet, wobei der Idealfall des Fügens mit 0 Punkten „belohnt“ wird. Zur Analyse nach dem Eliminationsverfahren wird jedem Einzelteil aus ein Ausgangsguthaben an Punkten zugeteilt. Für jedes notwendige Montageelement wird die entsprechend definierte Strafpunktzahl vergeben, wodurch eine reduzierte Punktzahl (P) entsteht. Mit dem Kostenfaktor kann dann eine Aussage über das Montagekostenverhältnis des Produktes getroffen werden.[8]

4.3 Rahmenbedingungen für die AEM-Analyse

Da das Verfahren in einer frühen Phase durch den Konstrukteur genutzt wird, bleiben Einflussgrößen, wie z.B. Teilezu- und Abfuhr u.ä. unberücksichtigt. Die Komplexität des gesamten Montageprozesses ist damit noch nicht erfassbar. Das Programm wurde von Hitachi im Bereich der elektronischen Geräte angewendet. Da sie aus kleinen und leichten Bauteilen bestehen, werden Bauteilgröße und Gewicht bei der Bewertung des Montageprozesses nicht berücksichtigt.

Das Programm kann sowohl in der Entwurfphase eingesetzt werden als auch für den „IST-Zustand“. Die Vorteile der AEM-Analyse liegen in der früheren Anwendung, da in der Entwurfphase die Konstruktionsmöglichkeiten noch wenig eingeschränkt sind. Daraus folgt eine gute Möglichkeit, die Gesamtkosten zu beeinflussen. Je früher das Programm angewandt wird, desto größer ist die „Kostenbeeinflussung“ durch eine Verbesserung in der Konstruktion.

Beim Vergleich von „alten“ und „neuen“ Produkten ist stets darauf zu achten, dass vergleichbare Randbedingungen (z.B. Gerätegröße, Funktionen, Technologien) gegeben sind.

4.4 Analysebeispiel

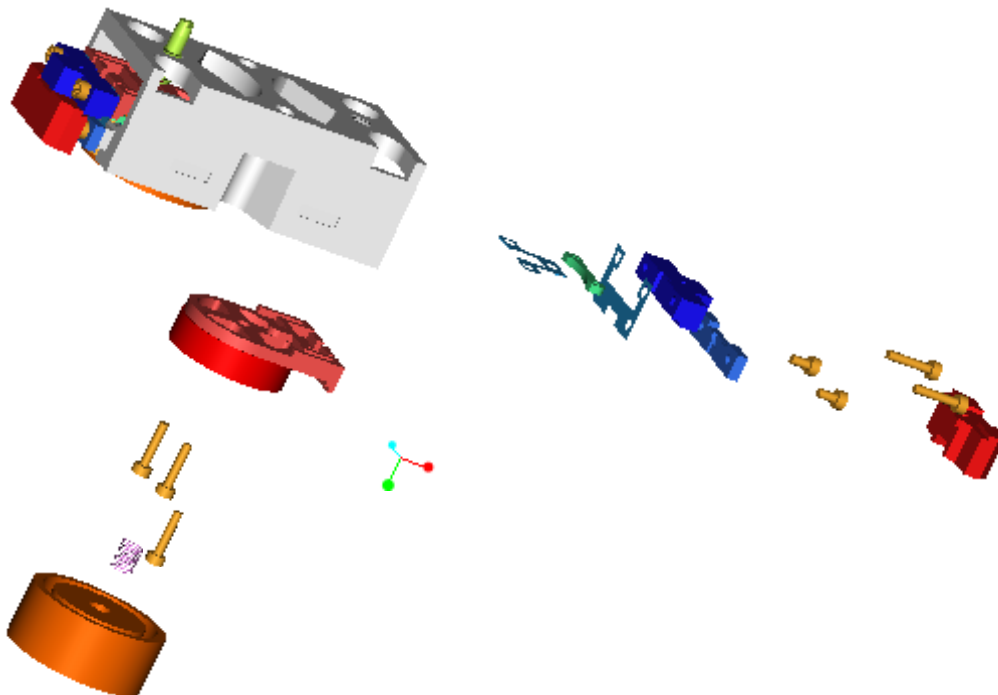


Bild 2: „Alte“ Ventil Konstruktion

Die Aufgabe war, das im Bild 2 gezeigte Ventil zu untersuchen und ein Redesign durchzuführen [9]. Es lässt sich sehr gut erkennen, dass die Montage sehr aufwändig ist. Bild 3 zeigt die neue Konstruktion.

Mit der AEM-Methode kann man zeigen, dass an der alten Konstruktion die zahlreiche Schraubenverbindungen, unterschiedliche Schraubengrößen, unterschiedliche Fügerichtungen die Montage erschweren. Man sollte kleine Teile, wie die Federn vermeiden. Die genaue Positionierung der Teile macht die Montage und Automatisierung zusätzlich kompliziert.

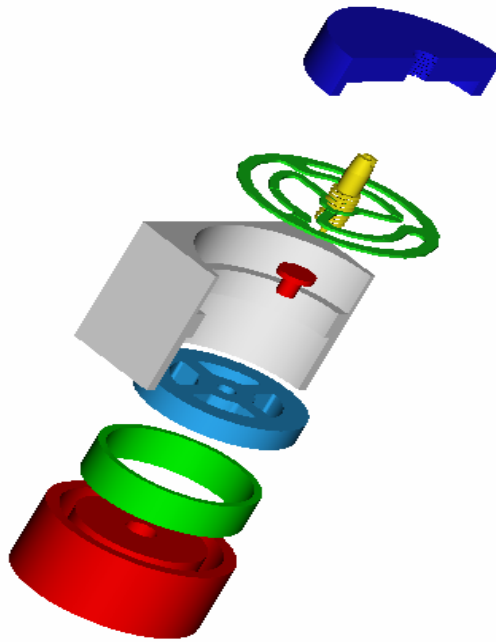


Bild 3: Neue Konstruktion

Die Montage des veränderten Ventils nach Bild 3 ist wesentlich vereinfacht durch einfachere Teile und eine einfache Bauweise. Die Schraubenverbindungen wurden bis auf eine reduziert. Der Montagevorgang kann von oben nach unten in einer Richtung in Schichtbauweise durchgeführt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion ist, dass neben den Kostenfaktoren, dieses Gerät auch die Anforderungen für eine automatisierungsgerechte Montage erfüllt.

5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse kann man durch ein Produktportfolio graphisch darstellen. Diese zeigt den Trend bei der Montage, die Fertigungskostenverhältnisse zwischen den Produkten und die ungünstigen Produktgruppen. In einer tieferen Ebene kann die Analyse direkt Schwachpunkte der Konstruktion aufdecken.

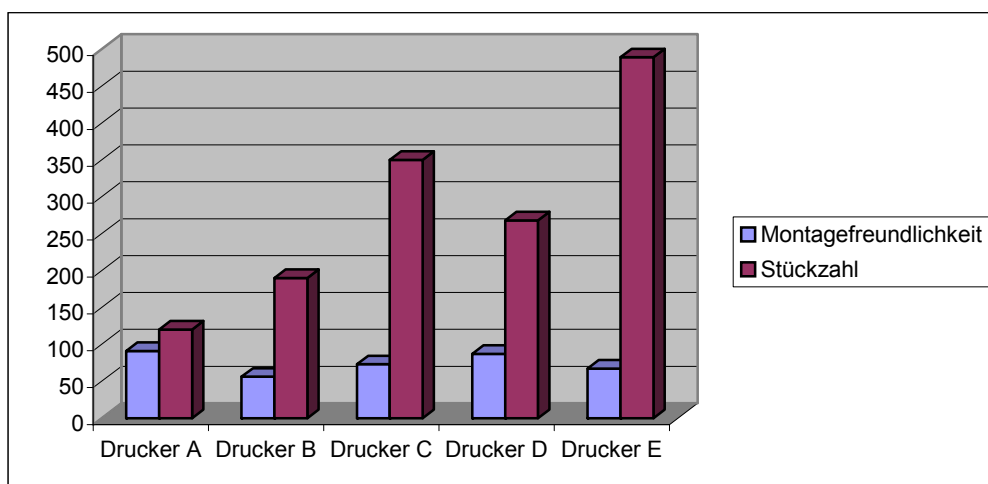


Bild 4: Montagefreundlichkeit und Stückzahl

Es ist erkennbar, dass Drucker A montagefreundlich bei niedriger Stückzahl ist. Vorteilhaft wäre eine Stückzahlerhöhung. Im Gegenfall sollte beim Drucker E mit hohen Montagekosten ein Redesign vorgenommen werden. Mit Hilfe der AEM Analyse sind die Schwächen der Konstruktion erkennbar.

Das gegenwärtige AEM-Verfahren erfordert einen hohen Eingabeaufwand. Eine Weiterentwicklung sollte das automatische Erzeugen von Montagegraphen aus dem 3D-CAD-Produktmodell ermöglichen und den günstigsten ermitteln.

6 Literatur

- [1] M. Myrup Andreasen.: Design for Assembly Second Ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1988
- [2] Holle, W.: Rechnerunterstützte Montageplanung Carl Hanser-Verlag, München, 2002
- [3] Krause, W.: Herausforderung für den Konstrukteur. Vortrag Ilmenau 1993, IWK Ilmenau 1993 Tagungsband
- [4] Krause, W.: Fertigung in der Feinwerk- und Mikrotechnik – Verfahren Werkstoffe Gestaltung. 1. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1995
- [5] Ulf, M.: Produktrecycling in der Feinwerktechnik, Dissertation, TU-Dresden, 1998
- [6] Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W.: Product Design for Manufacture and Assembly, University of Rhode Island, Marcel Dekker Inc., New York
- [7] <http://www.sintef.no/units/matek/projects/dfm/5kap.htm> (DFM Tools for improving product designs, Juhani Lempiäinen, Deltatron)
- [8] <http://www.alltel.net/~johnrandolph/Design%20for%20Assembly.htm> (John D. Randolph)
- [9] Reinhäkel, T.: Konstruktion und Simulation eines Ventils, Projektarbeit TU Ilmenau 2000

Dipl.-Ing. Elemér Fejes,
Terméktervezés és Mezőgazdasági Gépek Tsz.
TU Budapest
Műegyetem rkp. 3, H-1111 Budapest
Tel: +36-1-463-40-81
Email: fejes.elemer@gszi.bme.hu
URL: <http://www.gszi.bme.hu>