



Bemerkungen zur Bewertung der Montagegerechtheit bei der Planung verfahrenstechnischer Anlagen

Eberhard Wegener

Ein technisches Gebilde wird eindeutig und vollständig durch seine geometrischen, stofflichen und Zustandseigenschaften beschrieben. Eine verfahrenstechnische Anlage entsteht planerisch als Stufenprozess, der Planer ist gezwungen, auf der jeweiligen Konkretisierungsstufe eine Beurteilung seiner Gestaltungslösung vorzunehmen und Entscheidungen zu treffen, teilweise auf niedrigem Konkretisierungsniveau, d. h. sie tragen oft nur vorläufigen Charakter und müssen in den folgenden Planungsstufen angepasst werden, so auch die montagegerechte Gestaltung von Teillösungen.

1. Problemsituation

Wenngleich Klarheit darüber herrscht, dass in den einzelnen Konkretisierungsstufen auch über die montagegerechte Gestaltung von Teillösungen geurteilt werden muss, so ist zu prüfen, was und wie beurteilt werden kann. Die besonderen Probleme der Gestaltung verfahrenstechnischer Anlagen komplizieren den Beurteilungsprozess, da

- durch die Anlage als Unikat jedesmal neue Bedingungen für die Montage und damit unterschiedliche Zielkriterien entstehen (z. B. Neubau-Erweiterung bei laufendem Betrieb),
- sich aufgrund der unterschiedlichen Zielkriterien Probleme bei der Auswahl der Bewertungskriterien ergeben, weil wissenschaftliche Ergebnisse zur Bestimmung einer ausreichenden Zahl von Bewertungskriterien (allgemeine Formulierungen spezifischer Merkmale) und Kennzahlen (quantitativer Ausdruck der Bewertungskriterien) bisher nicht vorliegen. Es ist daher zu entscheiden, welche und wieviele Bewertungskriterien in der jeweiligen Prozessstufe notwendig sind, um mit ausreichender Genauigkeit eine Gestaltungslösung montagetechnologisch begründen zu können. Gleichzeitig sind Überlegungen für eine Rangfolgebestimmung und eine Gewichtung notwendig, da allein die Unterschiedlichkeit im Gebrauch oder Weglassen von Bewertungskriterien für das Bewerten der gleichen Variante zu differenzierten bzw. sogar gegensätzlichen Ergebnissen führt,
- infolge des Stufenprozesses bei der Entwicklung der Gestaltungslösung die Bewertungskriterien wechseln; als Konsequenz muss die Festlegung der veränderten Rangfolge die Auswirkungen in vor- und nachgelagerten Planungsstufen erfassen,
- praktische Variantenvergleiche stets die Analyse der konkreten Situation verlangen. Im allgemeinen liegen aber nicht für jede ausgearbeitete Gestal-

tungsaufgabe Varianten aus montagetechnologischer Sicht vor, denn Ausrüstungsanordnungen und Führung der Rohrleitungen werden bereits z. B. nach distanzminimierenden Prämissen vorgegeben und die gestaltungsbezogene Bewertung muss komplexen Charakter tragen, d. h. sie muss über die rein montage technologische Betrachtung hinausgehen und andere Gewerke miteinbeziehen. Es ist daher nicht möglich, alle qualitativen Faktoren auf einen quantitativen Nenner zu bringen.

Da die montagegerechte Gestaltung nur eine Teilqualität des Erzeugnisses Anlage und die Wertigkeit der Montagegerechtheit innerhalb der Entwicklung der Gesamtlösung noch ungeklärt ist, führen Vorschläge wie von Plankenbichler et al. [1] nicht zum Erfolg, da die Bewertung der Qualität die Quantifizierung ihrer Qualitätseigenschaften voraussetzt. Auch Pappritz [2] sieht die Schwierigkeiten vor allem darin, „dass die der unmittelbaren und konkreten Wertbestimmung notwendigerweise vorgelagerten Fragen auf recht unterschiedlichen Ebenen liegen und in verschiedenen Abstraktionsrichtungen des Denkens variieren“. Im Ergebnis der Diskussion zur Bewertung der Montagegerechtheit muss festgestellt werden, dass diese nicht durch eine explizierte Kennzahl darstellbar ist. Damit verbleibt für die als notwendig erkannte Beurteilung nur die Anwendung eines Schätzverfahrens.

2. Beurteilung der Gestaltungslösung im Dialog

Wird als Schätzung die individuelle oder im Team aufgrund von Erfahrungen getroffene Angabe der wahrscheinlichen Merkmale vorhandener oder objektiv möglicher Sachverhalte angesehen, stellen Kenntnisse des Planers über montage technologische Belange und über die möglichen Maßnahmen zu ihrer Berücksichtigung eine Voraussetzung dar. Aufgrund der Planungsstufen gestattet das Schätzverfahren die kontinuierliche Präzisierung der Beurteilungen durch Weiterentwicklung der Beurteilungszustände, der -objekte und damit auch der -maßstäbe, die Sicherheit der Beurteilung nimmt zu mit der Vervollständigung der Planungsunterlagen und damit steigendem Informationsgehalt. Da nicht prinzipiell nach jeder Teilgestaltung eine Beurteilung größeren Umfanges notwendig ist, werden 3 Stufen der Beurteilung bei der Anlagengestaltung auf der Grundlage argumentativer oder qualitativer Methoden vorgeschlagen, die jeweils mögliche und notwendige Sachverhalte beinhalten.



2.1. Beurteilung in der ersten Stufe – Gestaltungsentwurf

Als erforderliche Unterlagen dienen der Lageplan, eine Objektübersicht, der Grobaufstellungsplan, Grobtrassenpläne, die Grob-Baustruktur und erste Angaben über Masse/Abmessungen der Hauptausrüstungen. In Form von Konsultationen erfolgt eine Beurteilung montage-technologischen Belange in folgendem Umfang:

Montageeinheit:

- Überprüfung der Transportfähigkeit und der maximalen Begrenzungen (Masse, Abmessungen, Transportmittel, Transportweggeometrie) zur und auf der Baustelle,
- Überprüfen auf Übereinstimmung mit der Hubleistung der vorhandenen Hebezeuge für Entladen und Montage,
- Überprüfen auf evtl. Beschränkungen in Masse/Geometrie aufgrund von Transportbedingungen, montage-technologischen oder baulichen Randbedingungen sowie möglicher Vormontagen auf der Baustelle oder notwendigen Kontrollmontagen beim Hersteller,
- Überprüfen auf bereits erkennbare Forderungen an die bauliche Gestaltung (Montageöffnungen, Erdstabilisierungsmaßnahmen) oder an den Einsatz spezieller Technologien bzw. ausrüstungsspezifischer Montagehilfsmittel,
- gegebenenfalls bereits Anforderungen an die Gestaltung der Montageeinheiten aus dem Lastfall Montage.

Anlagengestaltung – Ausrüstungsanordnung:

- Überprüfung der Zugänglichkeit zum Baufeld/Einbauort für die Montageeinheit, Transport- und Hebezeuge, Einschätzung des notwendigen Platzbedarfes für Entladung, Zwischenlagerung, Vormontagen, der Abmessungen der Versorgungskorridore zwischen den Teilanlagen,
- Überprüfung der Führung von Rohrbrücken, Trassen und kanalverlegten Rohrleitungen unter Berücksichtigung des Realisierungsablaufes und der Zugänglichkeit für Hebezeuge zum Baufeld,
- Überprüfung der Stellung der Montageeinheit im Produktionsprozess und der bei Ausfall zu berücksichtigenden Faktoren hinsichtlich des vorgesehenen Standortes, für Demontage udgl.,
- Einschätzung der Lage/Größe der Zentralen Baustelleneinrichtung,
- Überprüfung der Einbauorte der Montageeinheiten, notwendiger Hebezeuge, deren Standort, Flächenbedarf für Zufahrt, Auf-, Ab-, Umrüsten, ausreichende Befestigung, Ermittlung zu erwartender Beschränkungen, Art der Aufstellung,
- Ermittlung möglicher Montagehöhen, Sicherung der montage-technologischen erforderlichen Mindestabstände um die Montageeinheiten,
- Überprüfung möglicher Montagetechnologien, Ermittlung montage-technologischer Besonderheiten, technologisch oder bauablaufbedingter Montagereihenfolgen, Aussagen zum Einsatz spezifischer Montagehilfsmittel, Ermittlung von Abhängigkeiten von Bau/Stahlbau,
- Ermittlung spezieller Anforderungen an die Gestaltung, die Masse/Geometrie der Montageeinheiten, die Zufahrtswege, die Baustelleneinrichtung, die bauliche Gestaltung und die Montageorganisation,

- Einschätzung der zu erwartenden Beeinträchtigungen oder Behinderungen durch Einengung des Baufeldes, benachbarte Anlagen, Rohrbrücken, wachsende Bebauung des Baufeldes, Ex-Schutz der Hebezeuge,
- Ermittlung von Zusatzbeanspruchungen (Lastfall Montage) für den Baukörper und die Montageeinheiten.

Bauliche Gestaltung:

- Einschätzung von Problemen, die sich für die Montage aus der Gliederung der Anlage und der Bauweise ergeben, Möglichkeiten des Einschwenkens von Ausrüstungen in den Baukörper,
- Ermittlung spezieller Anforderungen an die Gestaltung von Montageeinheiten aus Zuführen und Auf-lagern sowie baulichen Begrenzungen für die Demontage, notwendige stationäre Arbeitsmittel und Hilfs-vorrichtungen als Montagehilfen,
- Überprüfen der Zugänglichkeit zum Einbauort, Montageöffnungen, Belastbarkeiten, Flächenangebote für Montagevorrichtungen und -operationen, Vertikal- und Horizontal-Transportmöglichkeiten,
- Überprüfung der zusätzlichen Belastungen aus Transportlasten, Montagestabilisierung, Krafteinleitungspunkten in den Baukörper.

Kopplungen (Rohrleitungen):

- Einschätzung der sich aus der Verlegungsart zwischen den Teilanlagen ergebenden Probleme, Verflechtungsgrad, Möglichkeiten der Vorfertigung und Vormontage von Rohrleitungen, mögliche Probleme bei Rohrleitungen großer Nennweite oder bei speziellen Werkstoffen, Zugänglichkeit für Hebezeuge,
- Ermittlung montage-technologisch oder ablaufbedingter Montagereihenfolgen und Ableiten von Gestaltungsforderungen,
- Ermittlung möglicher Behinderungen/Beeinträchtigungen für die Rohrleitungs montage.

Die Überprüfung der grundlegenden beeinflussenden Faktoren, ihrer Auswirkungen usw. ist prinzipiell durch Check-Listen auf dieser Basis möglich, da sie jedoch nur den jeweiligen Stand der Fertigungs-, Transport- oder Montagetechnologie (-möglichkeiten) wiedergeben und die Dialogführung zu diesem Problem nicht ausschließen, ist einer argumentativen Beurteilung der Vorzug zu geben.

2.2 Beurteilung in der zweiten Stufe – Gestaltungslösung

Die Beurteilung erfolgt mit dem anhand der Erkenntnisse aus der ersten Beurteilungsstufe überarbeiteten Aufstellungsplan der Ausrüstungen, von Rohrleitungs- und Trassenplänen, isometrischen Rohrleitungszeichnungen, von Apparateskizzen und Anfragezeichnungen sowie Fundament- und Durchbruchplänen, die eine Einschätzung der Detailprobleme erlauben. Beurteilungsschwerpunkte sind nun:

Montageeinheit:

- Bestimmung des optimalen Anlieferungszustandes, der Möglichkeit der weiteren Vormontage bzw. Komplettierung auf der Baustelle,



- Überprüfung der Montagefähigkeit, der erforderlichen Anschlagpunkte für das Zuführen, das Herstellen der Einbaulage und der Lagesicherung in Anzahl und Anordnung,
- Überprüfung der vorgesehenen Maßnahmen zur Sicherung der Lagerfähigkeit und Qualitätserhaltung,
- Überprüfung auf zusätzliche Montagebeanspruchungen durch Auflagern von Montagehilfen, Begehung oder Rüsthilfen.

Anlagengestaltung – Ausrüstungsanordnung:

- Überprüfung des Flächen- und Raumbedarfes/-angebotes für die Baustelleneinrichtung, der Aufstell- und Rüstflächen für die Hebezeuge, der Vormontage- und Montageflächen einschl. der Transportwege,
- Ermittlung zusätzlicher Anforderungen für Montagehilfsmittel sowie baulicher Angaben,
- Überprüfen auf Vermeidung unnötiger Einrüstungen und Ermittlung von Anforderungen an die Gestaltung von Montageeinheiten hinsichtlich der konstruktiven Berücksichtigung von Rüsthilfen.

Bauliche Gestaltung:

- Überprüfung des Flächen- und Raumbedarfes/-angebotes für Montageflächen und -wege, der Belastbarkeiten,
- Überprüfung auf Vorhandensein notwendiger stationärer Arbeitsmittel, Montagehilfen, Lasteintragstellen,
- Überprüfung der notwendigen Einrichtungen für die Aufnahme der Auflagerung von Ausrüstungen und Rohrleitungen sowie deren maßliche Genauigkeitsvorgabe in Abmessungen, Lage und Anordnung.

Kopplungen (Rohrleitungen):

- Einschätzung des möglichen Vorfertigungsgrades unter Berücksichtigung des Montagefortschritts und der Verlegekriterien sowie zweckmäßige Lage der Fügestellen,
- Überprüfen des Raum- und Flächenangebotes zur Rohrleitungsmontage, der zweckmäßigen Verbindung zwischen den Ausrüstungen, Unterstützungen und Halterungen,
- Überprüfung auf zu erwartende Passungsprobleme, Passendenfestlegung,
- Überprüfen der montagetechnologisch erforderlichen Abstände zwischen den Rohrleitungen sowie zu Ausrüstungen und baulichen Einrichtungen,
- Überprüfen der Armaturenanzahl auf Montagefähigkeit (Demontage, stationäre Montagehilfen),
- Überprüfung möglicher Beeinträchtigungen/Behinderungen durch den laufenden Betrieb, die bauliche Umgebung, Sicherheitsforderungen, Ex-Schutz.

2.3 Beurteilung in der dritten Stufe – Vor- und Nachbereitungsmöglichkeiten

Sind die Detailfragen aus der 2. Beurteilungsstufe geklärt und die notwendigen Anpassungen erfolgt, können auf der Grundlage der konkreten Planungsunterlagen für die einzelnen Teillösungen die Möglichkeiten einer rationalen Vor- bzw. Nachbereitung geprüft werden. Ihr Einfluss auf den Montageaufwand und vor allem auf die Montagezeit wird häufig unterschätzt. Dabei geht es um

eine effektive Vor- bzw. Nachbereitung der Montageeinheiten durch

- Überprüfung auf Festlegungen zu qualitätserhaltenden Maßnahmen bis zu Montage in den Planungs-/Konstruktionsunterlagen,
- die Prüfung auf die Möglichkeit, die vorgesehenen Prüf- und Kontrollprozesse rationell durchführen zu können,
- die Überprüfung der rationalen Durchführbarkeit von Leistungen anderer Gewerke.

3. Anwendbarkeit der Beurteilungsmethode

Die Aufstellung eines allgemeinen Zielrahmens scheitert an der Festlegung notwendiger Bewertungskriterien und deren Gewichtung. Wenngleich unterschiedliche Auffassungen zur notwendigen Anzahl der Bewertungskriterien und deren Rangfolgebestimmung bestehen (sie schwanken zwischen 3 und 20, Gäfgen [3] begründet 6 als sinnvoll) und die Sinnfälligkeit einer Gewichtung (Lowka [4] bereits 1975), so zeigt Abbildung 1 auch die Möglichkeiten/Grenzen der Einflussnahme der Montage auf den Gestaltungsprozess). Auch bei der Auswahl der Beurteilungskriterien, die letztlich zu den Prüfungsmaßnahmen in den vorgeschlagenen drei Beurteilungsstufen führen (Abbildung 2), tritt die Problematik auf, dass Beurteilungsergebnisse in den einzelnen Beurteilungsbereichen zum Erkennen von Folgeproblemen führen, für deren Beurteilung wieder sog. Ersatzkriterien formuliert werden müssen.

Die vorgeschlagene Schätzmethode stellt offensichtlich die effektivste Möglichkeit dar, Gestaltungslösungen unter dem Gesichtspunkt der Montage zu beurteilen. Inwieweit das Beurteilungsprogramm vollständig im Dialog abgearbeitet werden muss, hängt weitgehend von der methodischen Vorgehensweise und vom subjektiven Erfahrungsschatz des Planers ab. Es garantiert jedoch in jedem Fall die Berücksichtigung aller zu erwartender Montageprobleme.

4. Ausblick

Der Zwang nach aufwandsarmen Anlagen für die Montage erfordert eine zielgerichtete und effektive Schaffung montagegerechter Lösungen. Die Schwierigkeiten liegen in der nachgewiesenen Vielfalt der zu berücksichtigenden Einflussfaktoren. Es wird als empfehlenswert angesehen, als methodisches Hilfsmittel ein Regelwerk auszuarbeiten, das einerseits den Einsatz unmittelbar in der praktischen Arbeit des Planers findet und sowohl als Arbeitsmittel zur bewussten montagegerechten Gestaltung als auch zur Überprüfung von Gestaltungslösungen dienen kann, andererseits seine Verwendung in der Ausbildung zur Befähigung zur methodischen Arbeit, auch unter Beachtung des Stoff-Zeit-Problems in der Ingenieurausbildung. Es wäre jedoch ein Irrtum zu glauben, dass sich mit einem Regelwerk allein eine effektive Montagevorbereitung und -durchführung ergibt, es hängt von der Motivation der Beteiligten ab, inwieweit vorteilhafte Arbeitsmethoden angewendet werden. Die vorgeschlagene Vorgehensweise kann hierzu einen Beitrag leisten.



5. Literaturverzeichnis

- [1] Plankenbichler, Krug, Handschur: Die Bewertung einer komplizierten Anlage und Schlussfolgerungen für spezielle Methodiken der Qualitätsbewertung. Standardisierung und Qualität 20 (1974) 7, S. 281-285
- [2] Pappritz, P.: Das Wertproblem im technischen Schaffen – Fragen zur Diskussion, Positionsbestimmung, Anregung zum weiteren Dialog. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden 31 (1982) 5, S. 55-61
- [3] Gäfgen, G.: Theorie der wirtschaftlichen Entscheidungen. Mohr Verlag Tübingen 1968
- [4] Lowka, D.: Gewichtungen bei Bewertungen. Konstruktion 27 (1975) 9, S. 345-347

Autor

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Wegener
 Technische Fachhochschule Wildau
 Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
 Tel. (0 33 75) 508-169
 E-Mail: wegener@vt.fth-wildau.de

| Einflüsse auf Kriterien Gestaltungsobjekt | Charakteristisches | | Qualitativer Einfluss auf Montageaufwand | Beeinflussbar aus Sicht der Montage (Merkmal) | Beurteilungskriterien für die Montagegerechtigkeit z.B. | Bemerkungen |
|--|---------------------------|--|--|---|---|--|
| | Hauptmerkmal | Zusatzmerkmal | | | | |
| Anlage | Standort | Neubau Rekonstr. | groß sehr groß | kaum | Zugänglichkeit für Montageeinheiten, Arbeitsmittel, Behinderungen/Erschwernisse | Sowohl vom Betrieb zur Baustelle, als auch Zentrale Baustelleneinrichtung/Vormontageplatz zum Einbauort, Mehraufwand |
| | Größe | Lage der ZBE | mittel | kaum | Transportweg, -länge, -geometrie Vormontageflächen | Zugänglichkeit i.w.S. Notwendige Ausrüstung |
| | Gliederung | horizontal vertikal | groß | kaum | Hebezeugeinsatz Zugänglichkeit für ME, AM Möglichkeit der Blockmontage | Flächenbedarf für Auf-, Um und Abrüsten |
| | Gliederung in Teilanlagen | funktionsfähig | groß | kaum | Hebezeugeinsatz Zugänglichkeit für Montageeinheit, AM Verflechtungsichte | In Verbindung mit Montageorganisation |
| | Bauweise | Freibau Teilfreibau Umhausung | sehr groß | kaum | Hebezeugeinsatz Zugänglichkeit für Montageeinheit, AM Kombinierte Bau-Ausrüstungs-Montage | Verfahren bestimmt Bauweise Wechselwirkung Bau - Ausrüstung |
| | Ausrüstungsauswahl | verfahrenstechnisch abhängig dimensioniert | groß | kaum | Masse/Geometrie/Abmessung Anzahl, Art und Lage der Fügeflächen | S. Ersatzkriterien Montageeinheit |
| | | verfahrenstechnisch unabhängig dimensioniert | groß | kaum | Zugänglichkeit zum Einbauort Hebezeugeinsatz Transportlage - Einbaulage Justieraufwand | |
| | Ausrüstungsanordnung | verfahrensbedingt | groß | kaum | Zugänglichkeit für ME, AM Blockmontagemöglichkeiten | Wechselwirkung Instandhaltung |
| | | nicht verfahrensbedingt | groß | kaum | Zugänglichkeit für ME, AM Einsatz moderner Montageverfahren | |
| Kopplungen | Verlegungsart | groß | kaum | Vorfertigungsgrad Prüf- und Kontrollmöglichkeiten | | |

Abb. 1: Einflussmöglichkeit der Montage auf die Anlagengestaltung

| Charakteristisches Hauptmerkmal | Zusatzmerkmal | Beurteilungskriterien | Bemerkungen |
|---|-------------------------------|---|--|
| Masse | Schwerpunktlage | Notwendige Hebezeuge Montagehilfsmittel (spezielle) Vormontagegrad | Beschaffenheit der Transportwege (Erdstabilisierungsmaßnahmen) |
| Abmessungen | Schwerpunktlage | Zugänglichkeit zum Einbauort Hebezeugeinsatz Montagehilfsmittel (spezielle) Vormontagegrad | Mehraufwand für zeitweilige Stabilisierung |
| Geometrie | Stabilität (Lastfall Montage) | Transportfähigkeit (Zuführen) Montagehilfsmittel (spezielle) Anschlagmöglichkeiten Montagestabilisierung Komplettierung (Blockbildung) | |
| Werkstoff; Anzahl, Lage und Art der Fügeflächen | Transport -Einbaulage | Zugänglichkeit für Arbeitsmittel, Arbeitskräfte Aufwand für Zuführen Aufwand für Positionieren Aufwand für Lagesichern Aufwand für Fügen Rüstaufwand, Blockbildung | Montagestabilisierung |
| Komplettierung | Vormontage Schwerpunktlage | Hebezeugeinsatz Zugänglichkeit für Anschlagmöglichkeiten Montagehilfsmittel (spezielle) Blockbildung, Zuführbarkeit Aufwand für Vor- und Nachbereitung Rüstaufwand, Umsetzen des Hebezeuges | |
| Einbausituation | Transport - Einbaulage | Zugänglichkeit zum Einbauort Aufwand für Positionieren zusätzliche Anschlagmöglichkeiten Rüstaufwand zusätzliche Montagehilfsmittel | |
| Funktionsfähigkeit | Druck-, Dichtheitsprüfung | Aufwand für Prüf- und Kontrollmaßnahmen Rüstaufwand | |

Abb. 2: Rahmen zur Auswahl von Beurteilungskriterien für Montageeinheiten