

Fast Track Projects im Brückenbau – Anwendung und Bau-prozeß der Segmentbauweise mit externer Vorspannung

G. Girmscheid, A. Hartmann

Zusammenfassung Die Segmentbauweise mit externer Vorspannung hat sich insbesondere bei der Realisierung großer Infrastrukturprojekte im Ausland als eine Bauweise durchsetzen können, die die Erstellung wirtschaftlicher und qualitativ hochwertiger Brückenbauwerke gewährleistet. Aus diesem Grund wurden in Zusammenarbeit zwischen dem Deutschen Betonverein (DBV) und dem Bundesministerium für Verkehr (BMV) Empfehlungen zur Anwendung der Segmentbauweise mit externer Vorspannung in Deutschland erarbeitet. Den dabei aufgetretenen Fragen nach den Bedingungen für eine mögliche Anwendungserweiterung dieser Bauweise auf kleine und mittlere Brückenbauvorhaben und den daraus resultierenden Anforderungen an den Bauprozess soll aus baubetrieblicher Sicht in diesem Beitrag nachgegangen werden. Ferner soll das Optimierungspotential für Bauunternehmen aufgezeigt werden, solche Bauaufgaben als Systemanbieter zu verwirklichen.

Fast track projects in bridge construction – application fields and the construction process of segmental construction with external prestressing

Abstract Segmental bridge construction with external prestressing has proved to be one of the fastest and most economical method to build very large infrastructure systems. Due to the prefabrication of segments and the mechanical erection process as well as the application of dry joints in conjunction with external prestressing an economical and very high quality structure with low maintenance costs can be achieved. In particular, German construction companies are well experienced and have been very successful in the realization of such projects in Asia. Due to these facts the German Concrete Association (DBV) and the German Ministry of Transportation (BMV) have decided to produce a recommendation for the application of this construction method for use in Germany. The here presented paper will provide answers in regard to an efficient, fast and economical construction process for application to small and medium sized structures, based on the industrialized experiences gained on very large projects.

1 Einleitung

Die Entwicklung des Massivbrückenbaus ist seit Mitte dieses Jahrhunderts wesentlich durch die Anwendung des Systems der Vorspannung geprägt worden. Bei den ersten Anwendungen der Vorspannung wurden die Spannglieder außerhalb des Betonquerschnitts angeordnet, um die recht großen Spannkraftverluste aus Schwinden und Kriechen durch die Möglichkeit des Nachspanns

zu beherrschen. Mit der Verwendung hochfester Spannstähle konnte dieser Einfluß verringert und leichter bestimmt werden. In der Folge verschwand die externe Vorspannung fast gänzlich, da der Verbund von Spannstahl und Beton neben einer verbesserten Risseverteilung auch einen längerfristigen Korrosionsschutz versprach.

Daß die externe Vorspannung [1], [2], [3] in den letzten Jahren wieder verstärkt zum Einsatz gelangt, ist eng mit dem Segmentbrückenbau verbunden. Der Überbau von Segmentbrücken besteht aus einzelnen, quer zur Brückenlängsrichtung liegenden Segmenten, die z.B. industriell vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengespannt werden. Diese Bauweise wurde vor allem in Frankreich und den USA entwickelt [4]. Im Mittelpunkt der konstruktiven Entwicklung stand die Fugentechnik, die von der dicken vergossenen Beton- bzw. Mörtelfuge über die dünne geklebte Kontaktfuge hin zur Trockenfuge führte. Die Fugen stellen für interne Spannglieder, die im Steg z.B. von Hohlkastenquerschnitten geführt werden, ein erhöhtes Korrosionsrisiko dar. Durch die externe Anordnung der Spannglieder im Hohlkasten der Brücke, verbunden mit dem heute verfügbaren verbesserten Korrosionsschutz, konnte das Problem der Spanngliedkorrosion weitestgehend gelöst werden. Die genaue Einschätzung und Überprüfung des Verpreßergebnisses beim Injizieren der Hüllrohre wurde verbessert. Letztendlich erlauben die freiliegenden, leichter zugänglichen Spannglieder durch die direkte Kontrolle und Wartung sowie der Möglichkeit des Nachspanns das Errichten und Betreiben dauerhafter Brückenbauwerke [5].

Neben der Dauerhaftigkeit waren es wirtschaftliche Aspekte, die zu einer Verbindung der Segmentbauweise mit der externen Vorspannung (nachfolgend nur noch Segmentbauweise / Segmentbrückenbau genannt) geführt haben. Durch die Auslagerung der Spannglieder und die Einführung der Kontakt- bzw. Trockenfuge konnten die Arbeitsvorgänge Bewehren, Betonieren und Montieren vereinfacht werden [6]. Die einzelnen Arbeitsschritte vom Einbau der internen Hüllrohre bis zum Injizieren der Spannglieder wurden ebenso wie das aufwendige Schließen der Fugen vermieden. Die damit verbundene gleichmäßig gute Betonverdichtung im Steg bei gleichzeitiger Verwendung hochfester Betone sowie der begrenzte Betonierabschnitt (Segment), der nicht mittels ausgeklügelter Abbindeverzögerung über mehrere Stunden betoniert werden muß (Ortbetonbrücke), ergaben eine höhere Qualität der Segmente bzw. des fertiggestellten Überbaus. Zudem konnten die Taktzeiten bei der Herstellung und Montage der Segmente wesentlich verkürzt werden. Durch die Vereinfachung der Arbeitsvorgänge wurde die Einführung mechanisierter Verlegesysteme gefördert.

2 Anwendungsbereiche des Segmentbrückenbaus

2.1 Bereich und Bedingungen der bisherigen Hauptanwendung

Mit der Effizienz bei der Montage kommt ein entscheidender Vorteil des Segmentbrückenbaus in Bezug auf Qualität und Wirtschaftlichkeit zum Tragen, die Möglichkeit zur industriellen Vorfertigung der Überbausegmente. Die von den eigentlichen Baustellenprozessen entkoppelte Fertigung der Überbausegmente gestattet Bauvorhaben als sogenannte *Fast Track Projects* abzuwickeln [7], das heißt

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid, Leiter des Instituts für Bauplanung und Baubetrieb, Bereich Baubetriebswissenschaft und Bauverfahrenstechnik an der ETH-Zürich, leitete in Bangkok ein 640 Mio. DM Segment-Hochstraßen-Projekt. Dipl.-Ing. Andreas Hartmann, Assistent am Institut für Bauplanung und Baubetrieb, Bereich Baubetriebswissenschaft und Bauverfahrenstechnik an der ETH-Zürich.
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid und Dipl.-Ing. Andreas Hartmann, Institut für Bauplanung und Baubetrieb ETHZ, CH-8093 Zürich

innerhalb extrem kurzer Zeitvorgaben von der Vergabe bis zur Fertigstellung.

Die Forderung, ein wirtschaftliches und gleichzeitig dauerhaftes Bauwerk im Rahmen eines *Fast Track Project* zu erstellen, wird vermehrt bei der Verwirklichung großer Infrastrukturprojekte gestellt. Da eine Vielzahl der heutigen Infrastrukturbauten als Konzessionsobjekte realisiert werden, liegt ein wesentlicher Grund für diese Forderung in dem Bestreben einer schnellen Amortisation des investierten Kapitals. Wird zudem die Baustellenfertigung aufgrund begrenzter Platzverhältnisse behindert, wie es z.B. bei den großen Agglomerationen in Asien und Südamerika der Fall ist, ist mit der Segmentbauweise ein geeignetes Brückenbauverfahren gegeben, das einen zeitlich komprimierten Baufortschritt durch die Parallelität von Fertigungsprozessen mit der Fertigung einzelner Bauwerkselemente außerhalb der Baustelle verknüpft [8].

Durch die Übertragung technischer und organisatorischer Merkmale der stationären Industrie auf die Bauindustrie läßt sich ein zusätzlicher Kostenvorteil erzielen. Dieser scheint aber nur dann zu greifen, wenn die Überbausegmente in großen Stückzahlen gefertigt werden, um die nicht unerheblichen Vorkosten für die maschinelle Ausrüstung der stationären Produktionsstätte (Schalung, Hebezeuge usw.) und der Baustelle (Transport-, Hebe- und Verlegegeräte usw.) aufzufangen. Die Wahl der Segmentbauweise stellt sich daher bei größeren und sehr großen Brückenbauwerken als besonders wirtschaftlich dar. Dies ist ein Grund für die zögerliche Anwendung in Deutschland, da hier nur in begrenztem Umfang Großprojekte zur Ausführung gelangen.

2.2 Bereich und Bedingungen für die Anwendung auf dem deutschen Baumarkt

Die Frage, ob das Anwendungsfeld der Segmentbauweise auch auf kleinere und mittlere Brückenbauwerke auszuweiten ist und unter welchen Bedingungen sich der Einsatz als lohnend erweist und so eine stärkere Auseinandersetzung mit dieser Bauweise in Deutschland rechtfertigt, führt zu folgenden Überlegungen.

1. Grundsätzlich kann die Segmentbauweise mit angepaßter baubetrieblicher Technik und Logistik auch für kleine und mittlere Brückenbauwerke wettbewerbsfähig eingesetzt werden. Denn gerade bei mehrfeldrigen Brückensystemen, die man auf einem Lehrgerüst oder Verlegeträger in Ortbeton erstellen würde, kann die Herstellung und das oft aufwendige feldweise Umsetzen der Schalung entfallen. Das Verschieben der vereinfachten Lehrgerüste oder Vorschubträger ist zwar weiter erforderlich, dennoch lassen sich die Vorteile einer kostengünstigen Produktion des Überbaus mit der Verkürzung der Bauzeit zum Nutzen des Bauherrn verbinden.
2. Es wurde festgehalten, daß der Einsatz der Segmentbauweise in der Regel besonders wirtschaftlich ist, wenn die Überbausegmente in großer Serie hergestellt werden. Dabei ist es jedoch unerheblich, ob die Fertigung für ein großes oder mehrere kleine Brückenbauwerke erfolgt, solange die einzelnen Baustellen voneinander bzw. von der Fertigungsstätte der Überbausegmente nicht zu weit entfernt liegen. Brücken über Autobahnen erfüllen häufig diese Forderung, zumal sie sich in ihren geometrischen Randbedingungen weitgehend ähneln. Daher sind sie trotz ihrer geringen Bauwerkslängen mit einer zentral angeordneten Segmentfertigung wirtschaftlich zu realisieren.
3. Die Frage nach den Kosten einer Baumaßnahme steht im Mittelpunkt bei der Wahl einer geeigneten Bauweise. Neben den eigentlichen Baukosten kann die Segmentbauweise in manchen Fällen dazu beitragen, Baunebenkosten, die aus einer Wechselwirkung der Baumaßnahme mit der Umwelt entstehen, zu ver-

mindern. Beim Bau von innerstädtischen Brücken und beim Umbau bzw. Ausbau von Autobahnbrücken erweist sich daher die Segmentbauweise durchaus als Alternative gegenüber anderen Bauweisen, denn die Kosten aus der Verlegung und Behinderung von Verkehrsströmen hochfrequentierter Straßen können infolge der schnellen Baudurchführung gesenkt werden. Zudem stößt ein Bauvorhaben mit verkürzter Verkehrsbeeinträchtigung bei der Bevölkerung leichter auf Akzeptanz.

4. Neben den Kosten, die während der Baumaßnahme entstehen, finden immer stärker die späteren Folgekosten Eingang bei der Entscheidung für eine Bauweise. Denn ein aufwendiger Unterhalt und die ebenfalls häufig mit einer Verkehrsbeeinflussung verbundene Sanierung von Brückenbauwerken sind in ihrer Kostenrelevanz nicht zu unterschätzen. Die Segmentbauweise bietet hier den bereits erwähnten Vorteil, daß die eigentliche Bau- bzw. Unterhaltszeit und damit auch die Zeit der Verkehrsbehinderung bei Sanierungsmaßnahmen verkürzt wird. Der Brückenunterhalt wird durch die Möglichkeit des Nachspannens oder Auswechselns von Spanngliedern der externen Vorspannung erleichtert. Die externe Vorspannung begünstigt zusätzlich die Möglichkeit zur vereinfachten Demontage und Rückgewinnung einzelner Segmente bzw. ganzer Brückenabschnitte. Ein Umstand, der besonders für den Bau und Erhalt von Eisenbahnbrücken von Interesse ist.
5. Unter Ausnutzung des Zeitvorteils, den die Segmentbauweise bietet, kann beim Auftreten eines unerwarteten und plötzlichen Schadenfalles, der eine komplette Erneuerung des Brückenbauwerkes erforderlich macht, eine schnelle Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit gewährleistet werden, einhergehend mit geringeren Folgekosten.
6. Innerhalb der angestrebten langen Nutzungsdauer von Brückenbauwerken sind Nutzungsänderungen meist mit erheblichen Zusatzkosten verbunden. Die externe Vorspannung erlaubt in diesem Fall durch sukzessives Erhöhen der Vorspannkraft bzw. das Einziehen weiterer Spannglieder die einfache und schnelle Anpassung an sich ändernde Einwirkungen.

Die Entscheidung zugunsten der Segmentbauweise wird in hohem Maße durch die Wichtung der aufgeführten Einsatzbedingungen und der daraus erwachsenden Vorteile für den Bau und Unterhalt eines Brückenbauwerkes beeinflusst.

Zusammenfassend stellt sich die Segmentbauweise unter bestimmten Randbedingungen auch für den deutschen Baumarkt als ein attraktives Bauverfahren dar, das auch bei kleineren und mittleren Projekten des Brückenbaus zu einer Senkung von

- Kapitalkosten,
 - Fertigungskosten,
 - Baunebenkosten,
 - Unterhaltskosten,
 - Schadenfolgekosten und
 - Nutzungsänderungskosten
- beitragen kann.

Damit die wirtschaftlichen Vorteile des Segmentbrückenbaus für Bauvorhaben im Bereich kleiner und mittlerer Bauwerkslängen in ganzem Umfang zum Tragen kommen, bedarf es einiger Voraussetzungen:

1. einer Projektplanung, die sich an den Erfordernissen der Bauverfahren orientiert,
2. eines Bauprozesses, der einen technisch und organisatorisch reibungslosen Ablauf garantiert,
3. eines einfachen und leicht zu verändernden Verfahrens für die Segmentherstellung, um auch kleine Serien wirtschaftlich fertigen zu können,

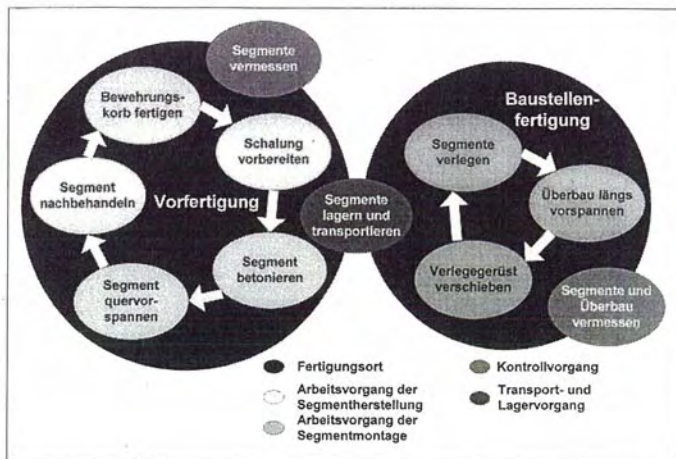


Bild 1. Zyklus des Fertigungsprozesses Überbau
Fig. 1. Cycle of the production process superstructure

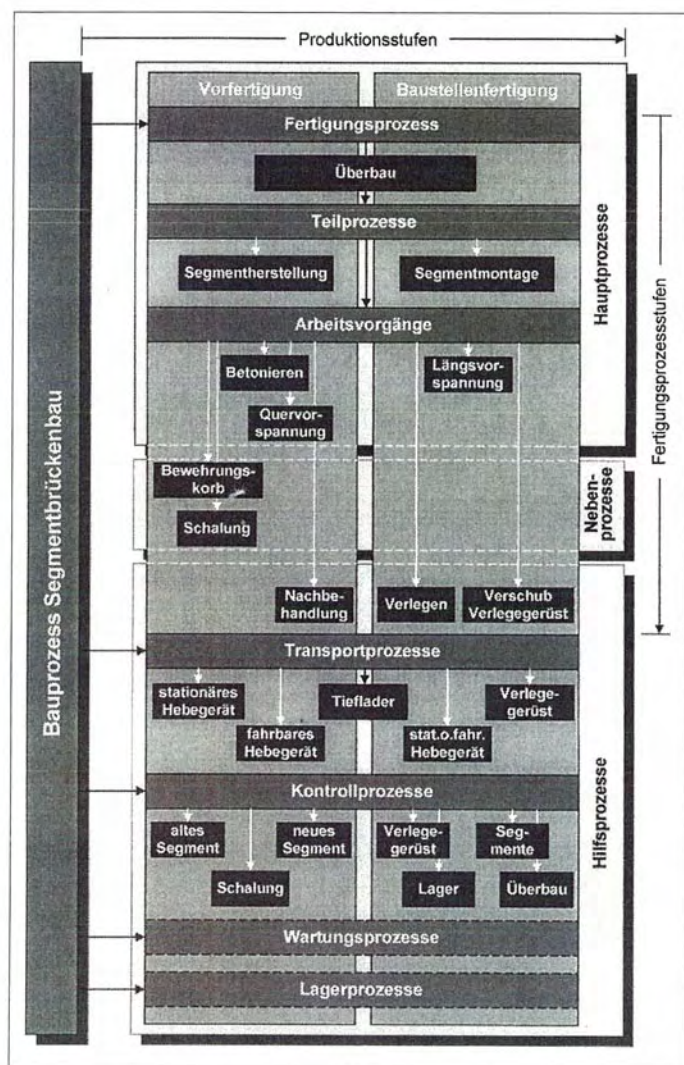


Bild 2. Bauprozessgliederung des Segmentbrückenbaus
Fig. 2. Construction process structure of the segmental bridge construction

4. eines Vermessungs- und Kontrollkonzeptes, das eine den Anforderungen entsprechend hohe Maßgenauigkeit gewährleistet,
5. einer durchdachten Organisation und Logistik,
6. eines einfachen, schnellen und modifizierbaren Montageverfahrens, damit der Zeit- und Kostenvorteil der Vorfertigung erhalten bleibt.

Nachfolgend sollen die notwendigen baubetrieblichen Voraussetzungen für den effizienten Einsatz der Segmentbauweise aufgezeigt werden.

3 Charakterisierung von Bauvorhaben in Segmentbauweise als Fast Track Projects

3.1 Bautechnologische Merkmale der Segmentbauweise

Grundlage für die Charakterisierung eines Bauvorhabens als *Fast Track Project* bildet das Verständnis über die Planungs- und Produktionsstruktur. Die markanteste Merkmalsausprägung eines *Fast Track Project* [7], die enorm kurze Fertigungsdauer, liegt begründet in der Ausnutzung der bautechnologischen Eigenschaften der Segmentbauweise, die zur Parallelisierung von Prozessen führen.

Die Segmentbauweise hebt sich gegenüber anderen Bauweisen dadurch hervor, daß das Brückenbauwerk in Einzelbauteile aufgeteilt wird, die sich oft wiederholen und in Form und Abmessung weitgehend identisch sind. Als Folge läßt sich der Bauprozess (Produktionsprozess) in verschiedene Fertigungsprozesse gliedern, die sich wiederum aus verschiedenen Teilprozessen zusammensetzen [9]. Zum einen sind diese Teilprozesse durch zyklisch aufeinanderfolgende Arbeitsvorgänge charakterisiert und zum anderen durch ihre teilweise, die Fertigungstiefe auf der Baustelle verringernde Verlagerung auf baustellenunabhängige Produktionsstätten. Daraus geht ein klar und übersichtlich strukturierter Bauprozess hervor, der weitgehend standardisierte und mechanisierte Arbeitsvorgänge gestattet, durch die ein zeit- und kostenoptimaler Produktionsablauf erreicht und zudem eine hohe Qualität des Bauproduktes gewährleistet wird.

Danach unterteilt sich der Bauprozess *Segmentbrückenbau* in die beiden Fertigungsprozesse *Unterbau* und *Überbau*, wobei sich der zuletzt genannte Fertigungsprozeß aus den beiden Teilprozessen *Segmentherstellung* und *Segmentmontage* zusammensetzt (Bild 1). In Form der repetitiven Arbeitsvorgänge *Bewehren*, *Schalen*, *Betonieren*, *Quervorspannung* und *Nachbehandlung* wird der Teilprozeß *Segmentherstellung* in die baustellenunabhängige Vorfertigung verlagert. Bei dem auf der Baustelle ablaufenden Teilprozeß *Segmentmontage* verringert sich die Anzahl der gleichfalls repetitiven Arbeitsvorgänge auf das *Segmentverlegen*, die *Längsvorspannung* und den *Verschieben des Verlegegerüsts*. Den Ablauf der Fertigung unterstützend und sichernd kommen sowohl bei der *Segmentherstellung* als auch bei der *Segmentmontage* noch die Transport-, Kontroll- und Lagerprozesse hinzu.

Die bautechnologische Einordnung der *Segmentbauweise* ist dem Bild 2 zu entnehmen, wobei sich die Darstellung auf den Fertigungsprozeß *Überbau* beschränkt.

3.2 Zeitgewinn aus parallelen Fertigungsprozessen und industriellen Produktionsmethoden

Mit den beschriebenen bautechnologischen Merkmalen der Segmentbauweise ist im Vergleich zur konventionellen Ortbetonbauweise mit ausschließlicher Baustellenfertigung eine wesentliche Zeitersparnis zu erzielen (Bild 3).

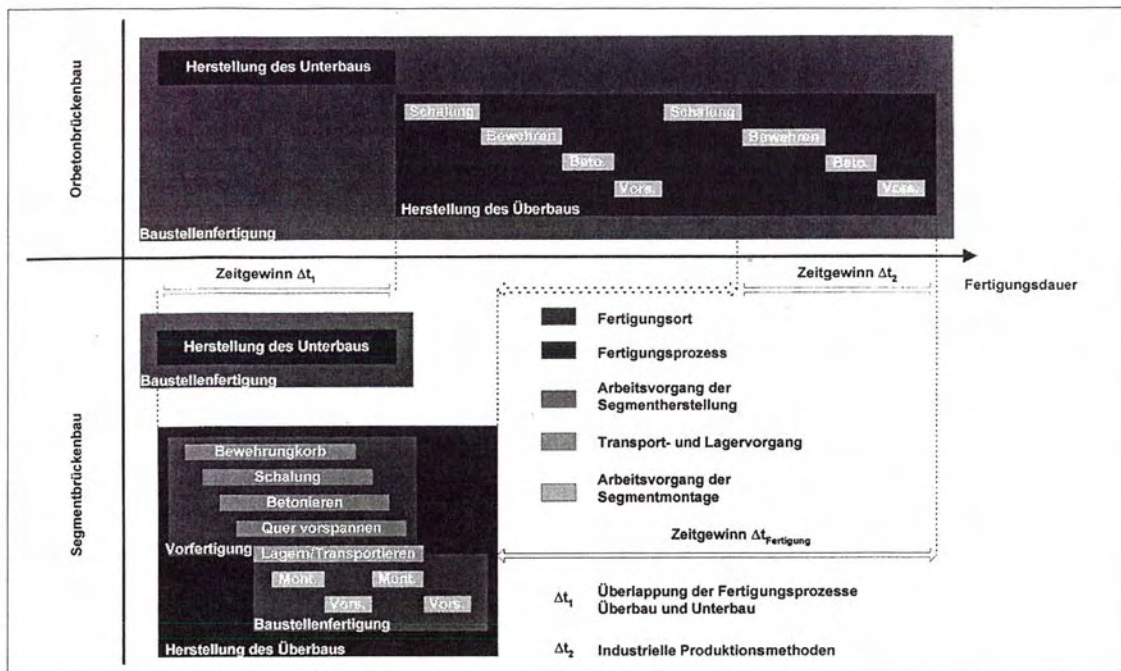


Bild 3. Zeitgewinn aus parallelen Fertigungsprozessen und industriellen Produktionsmethoden
Fig. 3. Gain in time by parallel production processes and industrial production methods

Laufen bei der konventionellen Ortbetonbauweise die beiden Fertigungsprozesse *Unterbau* und *Überbau* nacheinander ab, wird mit der Segmentbauweise ihre parallele Abfolge möglich (Zeitgewinn Δt_1). Das heißt, bereits während der Erstellung der Unterbauten kann mit der Herstellung der einzelnen Überbausegmente in der Vorfertigung begonnen werden. Dabei ist die Segmentproduktion im Grunde völlig unabhängig von den Baustellengegebenheiten und den vorherrschenden Witterungsverhältnissen. Die parallelen Abfolgen von einzelnen Arbeitsvorgängen innerhalb der Teilprozesse und die zyklische Wiederkehr der Arbeitsvorgänge ermöglichen eine hohe Mechanisierung. Diese industriellen Produktionsmethoden führen zu einer weiteren zeitlichen Ersparnis (Zeitgewinn Δt_2) gegenüber der Ortbetonbauweise.

3.3 Zeitgewinn aus parallelen Projektphasen

Eine wirtschaftlich orientierte Nutzung industrieller Produktionsmethoden im Bauwesen setzt die konsequente Umsetzung ihrer technischen und organisatorischen Merkmale voraus. Dies kann erreicht werden mit einer an den Produktionsmethoden orientierten Planung der Bauwerkskonstruktion und des Bauprozesses. Nur so gelingt die weitgehende Standardisierung der einzelnen Arbeitsvorgänge, die Nutzung ihres Mechanisierungspotentials, ihre optimale Verknüpfung untereinander und der gezielte Einsatz der Produktionsmittel. Unter der Voraussetzung von Totalunternehmerverträgen kann dieses Ziel der fertigungsorientierten Planung durch die Übertragung der Ausführungsplanung in die Verantwortlichkeit des Bauunternehmens verwirklicht werden [7]. Dadurch wird sichergestellt, daß der Erkenntnisgewinn aus früheren Baumaßnahmen direkt in

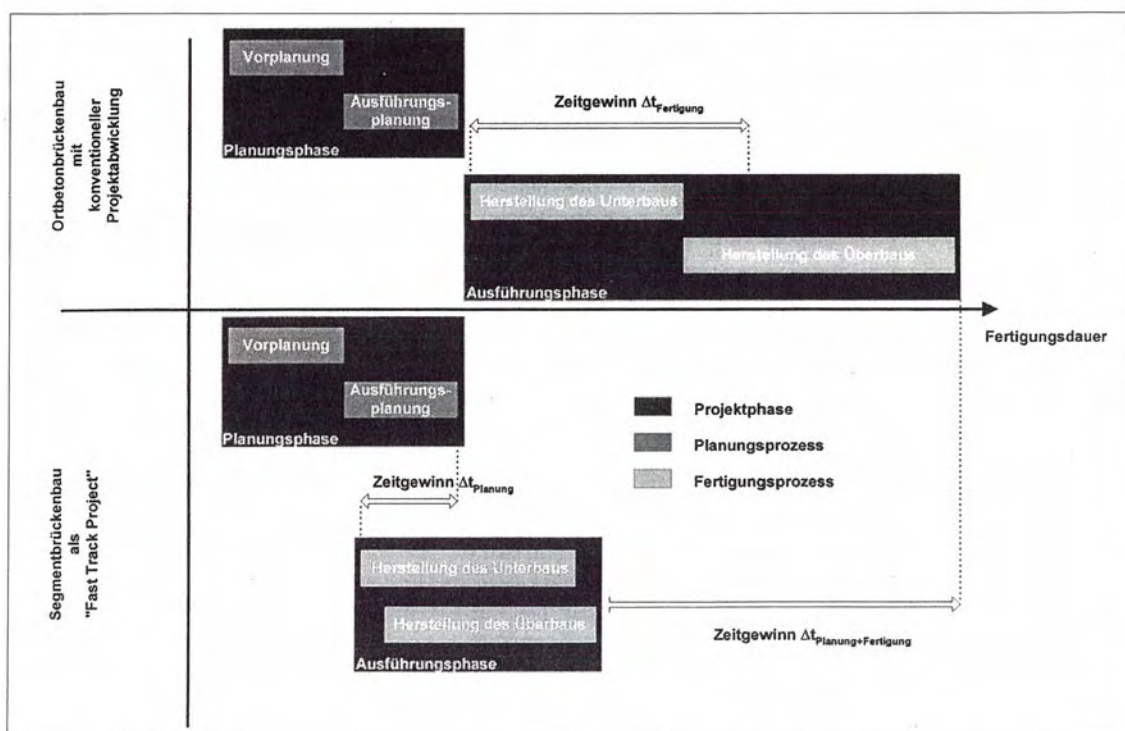


Bild 4. Zeitgewinn aus parallelen Projektphasen
Fig. 4. Gain in time by parallel project phases

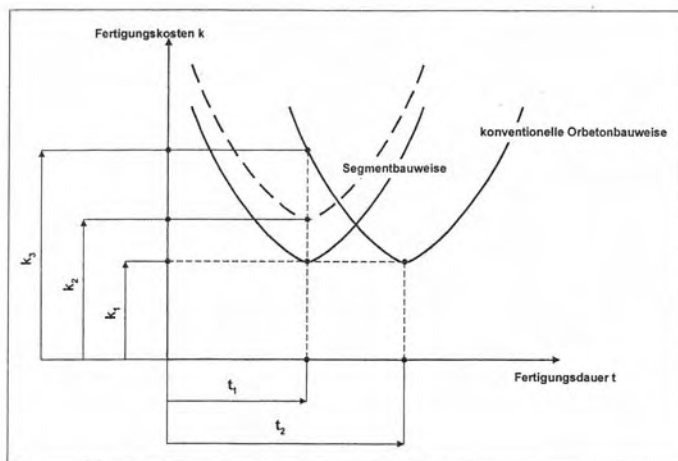


Bild 5. Abhängigkeit der Fertigungskosten von der Fertigungsdauer

Fig. 5. Dependency of production costs on production time

die Planungsphase des neuen Bauvorhabens zurückfließt. Gleichzeitig eröffnet sich dem Bauunternehmen die Möglichkeit, Planung und Bauausführung parallel laufen zu lassen. Das heißt, ohne daß das gesamte Brückenbauwerk vollständig geplant und konstruiert ist, können bereits einzelne Bauabschnitte erstellt werden. Dies ermöglicht es dem Unternehmer, als Systemanbieter aufzutreten.

Zum Zeitvorteil infolge der Produktionsstruktur der Segmentbauweise (Zeitgewinn $\Delta t_{\text{Fertigung}}$) kann somit ein weiterer Zeitvorteil aus der Parallelität von Planung und Ausführung (Zeitgewinn $\Delta t_{\text{Planung}}$) treten. Koppelt man beide Zeitvorteile, kann die Gesamtdauer eines Bauvorhabens durch den frühzeitigen Beginn und durch die Verkürzung der Ausführungsphase erheblich reduziert werden (**Bild 4**).

Die Anforderungen, die sich durch das Überlappen von Ausführungsplanung und Bauausführung an das Planungsmanagement ergeben, sind enorm hoch [7]. Das abschnittsweise Planen und Errichten des Bauwerkes bedingt ein ständiges Wechselspiel zwischen den konzeptionellen Aufgaben der Ausführungsplanung, bestehend aus [10]:

- Erstellen des technischen Konzeptes (Einbinden von Normen, Spezifikationen und Vorschriften usw.),
- Festlegen des Tragwerkkonzeptes (statische und konstruktive Berechnung des Brückenbauwerkes, Anfertigung der Ausführungszeichnungen usw.),
- Aufstellen des optimalen baubetrieblichen Konzeptes (Planung Segmentherstellung und -transport, Entwurf und Einsatz der Verlegegeräte, Berechnung der Montagezustände usw.).

Dies erfordert die strikte Einhaltung genau zu definierender Planungsschritte und -abläufe. Mit der baubetrieblichen Terminplanung muß genau festgelegt werden, wer, was und wann planerisch umzusetzen hat. Dafür ist es unabdingbar, daß

- bauabschnittsorientierte (joborientierte) Planungspakete aufgestellt werden,
- der jeweilige Planungsstand hinreichend dokumentiert ist,
- die Planverteilung an Prüfer, Baustelle, etc. überwacht und gesteuert wird und
- vorausschauende Grundlagen zu schaffen sind, die das Einbinden von späteren Planungsänderungen erleichtern.

Des weiteren muß zwischen den einzelnen Planungsteams, den genehmigenden Stellen und der Bauausführung der Informationsfluß in der Form organisiert werden, daß die wesentlichsten Informationen rechtzeitig und präzise fließen.

Die angedeuteten komplexen Anforderungen an das Management der Ausführungsplanung lassen sich nur erfüllen, wenn die Planungs- und Ausführungsbeteiligten die Zusammenhänge zwischen getroffener konstruktiver und bauverfahrenstechnischer Vorgehensweise und deren Auswirkung auf die nachfolgenden Entscheidungen erkennen, beurteilen und ihr Handeln in wirtschaftlicher Weise daran ausrichten können. Sie müssen die Bauverfahren voll beherrschen und projektphasenübergreifend eingespielte Teamstrukturen aufweisen.

3.4 Schlußfolgerungen für die Wirtschaftlichkeit

Bisher wurde die Charakterisierung von Bauvorhaben in Segmentbauweise als *Fast Track Projects* in erster Linie über die Leistungsfähigkeit dieser Bauweise während der Bauwerkserstellung vorgenommen. Dabei resultieren die sehr kurzen Ausführungsphasen nicht aus einer kapazitiven Erhöhung der Produktionsfaktoren, sondern liegen begründet in der Produktionsstruktur dieser Bauweise. Infolgedessen zeichnet sich im Vergleich der Segmentbauweise mit einer konventionellen Ortbetonbauweise die im **Bild 5** aufgezeigte Abhängigkeit der Fertigungskosten von der Fertigungsdauer ab.

Setzt man ein gleiches Kostenminimum bei beiden Bauweisen voraus (Fertigungskosten k_1), wird ersichtlich, daß die konventionelle Ortbetonbauweise, um das Bauprojekt im selben kurzen Zeitraum abwickeln zu können wie die Segmentbauweise (Fertigungsdauer t_1), aufgrund der notwendigen Erhöhung der bereitzustellenden Kapazitäten ein Mehr an Kosten (Fertigungskosten k_3) verlangt. Erhält der kurze Realisierungszeitraum einer Baumaßnahme bei der Wahl einer Bauweise entscheidendes Gewicht, kann die Segmentbauweise auch bei einem erhöhten Kostenminimum (Fertigungskosten k_2) kostengünstiger sein als die konventionelle Ortbetonbauweise.

Bezieht man die weiteren bereits erwähnten Kostenreduzierungen (Abschnitt 2.2) bei der Suche nach der optimalen Bauweise mit ein, wird die Segmentbauweise auch bei geringerer Wichtung der Fertigungsdauer ihre Wirtschaftlichkeit beibehalten können.

4 Merkmale der Segmentherstellung

Die enge Verflechtung von Bauwerkskonstruktion und Bauverfahren infolge industrieller Produktionsmethoden spiegelt sich beim Teilprozeß *Segmentherstellung* in erster Linie in Art und Anzahl der herzustellenden Segmente wider. Ob zusätzlich zu Standard- und Verankerungssegmenten auch Umlenksegmente hergestellt werden müssen, wird maßgeblich durch die gewählte Spanngliedführung beeinflusst. Nachfolgend werden alle drei Segmenttypen berücksichtigt. Durch die prinzipielle Darstellung der Segmentherstellung ist eine Übertragung auf unterschiedliche konstruktive Gegebenheiten leicht möglich.

4.1 Herstellungsstandort

Die Überbausegmente können vorgefertigt werden:

- in einem stationären Fertigteilwerk,
- in einem temporären Fertigteilwerk,
- in der temporären Baustellenfertigung.

Für die Wahl des Herstellungsstandortes sind folgende Überlegungen maßgebend [11]:

- die verfügbaren Platzverhältnisse,
- die Anzahl der Segmente,
- die Transportwege und -entfernungen,

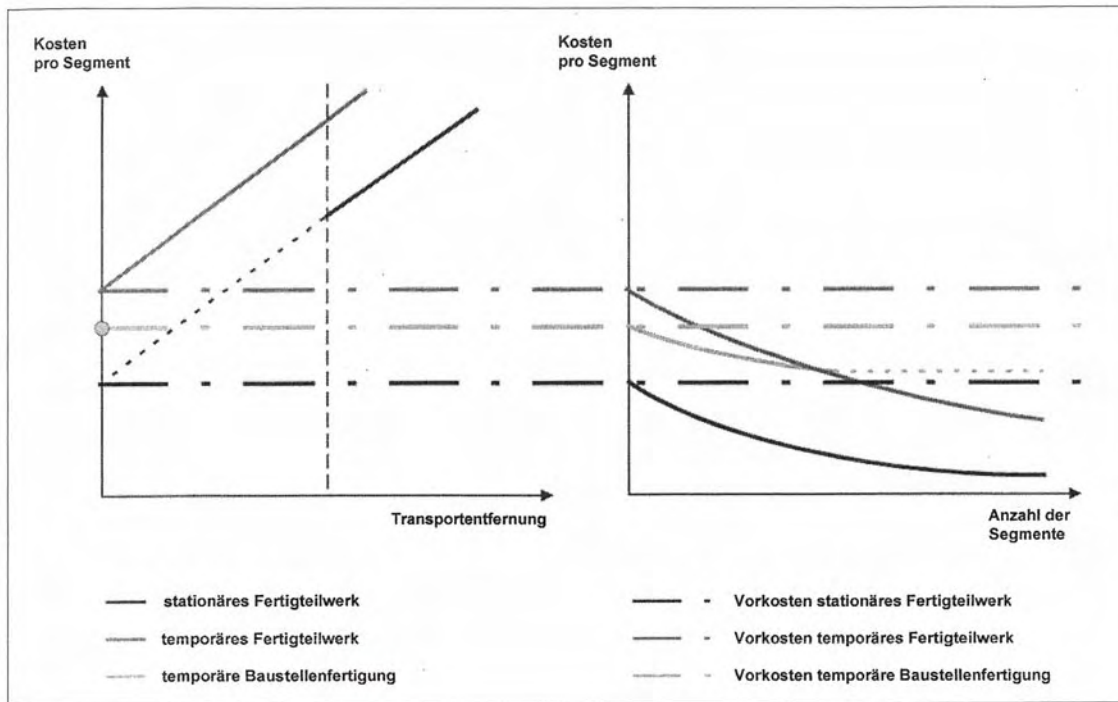


Bild 6. Kostenabhängigkeit von der Transportentfernung und der Segmentzahl.
 Fig. 6. Dependency of costs on the transport distance and number of segments

- die Transporthäufigkeit und die Art des Transportmittels.
 Die Abhängigkeit der Segmentkosten von der Transportentfernung und der Segmentanzahl ist in **Bild 6** dargestellt.

Die Vorfertigung der Segmente in stationären Fertigteilwerken läßt sich trotz größerer Transportentfernungen aus wirtschaftlichen Gründen dann rechtfertigen, wenn die Randbedingungen des Transportweges wie Durchfahrtshöhen und Gewichtsbeschränkungen dies ermöglichen. Durch die geringeren Vorkosten für die maschinelle Ausrüstung und die Ausnutzung des hohen Mechanisierungs- und Automatisierungsgrades des Fertigteilwerkes sind die Einzelkosten der Segmente vergleichsweise gering. Dies bedeutet, daß sich im stationären Fertigteilwerk industrielle Produktionsmethoden am besten verwirklichen lassen. In Verbindung mit einem qualifizierten

Mitarbeiterstamm wird der Arbeitsaufwand pro gefertigtem Segment bereits zu Herstellungsbeginn gering gehalten (flache Lernkurve). Zu beachten ist, daß die Installierung einer neuen Fertigungslinie in die Produktionsplanung des Fertigteilwerkes integriert werden muß.

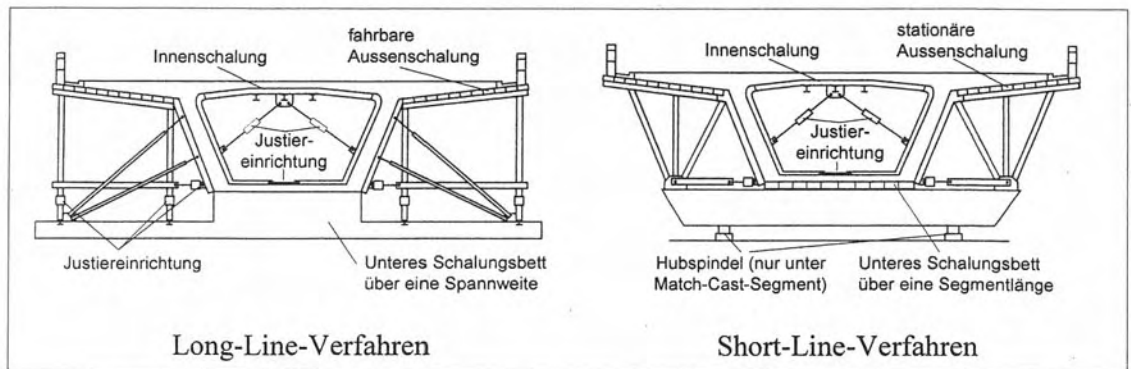
Bei kleineren Projekten kann die Entscheidung zugunsten der temporären Baustellenfertigung ausfallen. Dies bedeutet zwar Kleinserien mit geringer Mechanisierung bei höheren Vorkosten für die Fertigungseinrichtung, dafür entfällt aber der gesamte Segmenttransport zur Baustelle, und die Segmentherstellung kann der Tragfähigkeit der Hebezeuge optimal angepaßt werden. Bei einer temporären Baustellenfertigung wird man auch auf Vorfertigungselemente, wie Teilbewehrungskörbe etc., zurückgreifen, um den Ra-

	Stationäres Fertigteilwerk	Temporäres Fertigteilwerk	Temporäre Baustellenfertigung
Vorteile	alle Einrichtungelemente der Vorfertigung sind bereits vorhanden hoher Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad eingespielte und qualifizierte Belegschaft	Errichtung in Baustellen-nähe verkürzt Transport hoher Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad erreicht nach Einarbeitungszeit Effizienz des stationären Fertigteilwerkes	schnelle Errichtung direkt neben der Baustelle geringer Platzbedarf geringe Transportentfernungen
Nachteile	Produktionsplan ist frühzeitig zu berücksichtigen häufig grosse Transportentfernungen	grosser Platzbedarf nur wirtschaftlich bei grossen Stückzahlen sehr hohe Vorkosten	niedriger Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad verminderte Effizienz in der Vorfertigung aufgrund geringer Stückzahlen hohe Vorkosten

Bild 7. Vor- und Nachteile verschiedener Herstellungsstandorte
 Fig. 7. Advantages and disadvantages of different production locations

Bild 8. Prinzipieller Schalungsaufbau bei der Segmentherstellung

Fig. 8. Formwork construction for segment production on principle



tionalisierungsgrad zu steigern und eine geringe Fertigungstiefe vor Ort zu erzielen.

Nur bei sehr großen Projekten erscheint die Errichtung eines kompletten Fertigteilwerkes vor Ort sinnvoll [12]. Dabei muß mit einer Einarbeitungszeit für das Personal gerechnet werden, möglicherweise mit anfänglichen Qualitäts- und Leistungsproblemen. Zwar erreicht das temporäre Fertigteilwerk nach einer gewissen Anlaufphase die Effizienz eines stationären Fertigteilwerkes. Durch die kürzeren Transportwege steigt die Wirtschaftlichkeit. Aber wirtschaftlich nachteilig sind der große Platzbedarf und die zusätzliche Steigerung der Vorkosten durch die Vorhaltung weiterer Baustellen-einrichtungselemente wie Werkstätten, Büros, usw.

Grundsätzlich lassen sich bei der Fertigung größerer Stückzahlen industrielle Produktionsmethoden am besten nutzen. Da bei kleinen und mittleren Brückenbauvorhaben Segmente in entsprechend geringen Mengen gefertigt werden, ist mit ungünstigen Auswirkungen aus der Lernkurve bezüglich Fertigungsqualität und Leistungsfähigkeit zu rechnen. Dieser Nachteil wird mit der Segmentherstellung im stationären Fertigteilwerk minimiert und kann durch ein spezialisiertes Unternehmen auch für die temporäre Baustellenfertigung in bestimmtem Maße aufgehoben werden. Eine Gegenüberstellung der verschiedenen Herstellungsstandorte ist dem **Bild 7** zu entnehmen.

4.2 Herstellungsverfahren

Der Teilprozeß der Segmentherstellung wird durch die Schalung als das wesentliche Verfahrenselement gekennzeichnet. Durch sie lassen sich zwei Verfahren für die Vorfertigung des Segmentbrückenüberbaus unterscheiden (**Bild 8**),

- das Short-Line und
- das Long-Line Verfahren.

Beiden, dem Long-Line und dem Short-Line Verfahren, ist die Match-Cast-Methode (Kontaktverfahren) gemeinsam. Die Match-Cast-Methode ermöglicht durch die Verwendung des zuletzt betonierten Segmentes (Match-Cast-Segment) als Stirnabschalung für das nächstfolgende Segment eine exakte Paßgenauigkeit der Fugen, da zwischen benachbarten Segmentstirnflächen ein positiv-negativ Abdruck entsteht.

Beim Long-Line-Verfahren wird der Schalungsboden für eine Brückenspannweite vollständig oder teilweise erstellt und die bewegliche Seiten- und Innenschalung nach dem Betonieren um eine Segmentlänge versetzt [13]. Die Herstellung der Elemente für ein Brückenfeld erfolgt auf dem Schalungsboden alternierend. Meist werden zuerst die Elemente mit geraden und dann die Elemente mit ungeraden Nummern hergestellt. Nur bei größeren Brückenbauvorhaben, bei denen eine Vielzahl gleicher Spannweiten mit konstanten Krümmungen zu erstellen sind, kann das Long-Line-Verfahren eine wirtschaftliche Variante darstellen [14].

Das Short-Line-Verfahren hingegen bedient sich einer einfachen, kleinen, kostengünstigen und ortsfesten Schalung. In dieser werden die einzelnen Segmente des Überbaus hergestellt. Nach dem Betonieren und Erhärten wird das Element aus der Schalung gehoben und vor der Schalung als neues Match-Cast-Segment positioniert [8]. Die bereits gefertigten und gekennzeichneten Segmente des Überbauabschnittes werden am Herstellungsstandort zwischengelagert. Der geringe Platzbedarf für die eigentliche Fertigungseinrichtung und die gute Anpassung an veränderte Strecken- und Gradientenführungen lassen das Short-Line Verfahren bevorzugt zur Anwendung gelangen und qualifizieren es dadurch auch für den erweiterten Anwendungsbereich der Segmentbauweise (**Bild 9**).

4.3 Vermessung und Kontrolle

Da beim Short-Line-Verfahren die Segmente des Überbaus einzeln gefertigt werden, kommt der Überprüfung der Maßgenauigkeit der Segmente eine besondere Bedeutung zu, dies insbesondere bei gekrümmtem und geneigtem Überbau. Um die Paßgenauigkeit der einzelnen Segmente sicherzustellen, den geforderten Gradienten- und Lageverlauf einzuhalten und ästhetische Mängel zu vermeiden, ist die Aufstellung eines Kontroll- und Vermessungskonzeptes unabdingbar, das zum einen in den Taktplan der Segmentherstellung zu integrieren ist und zum anderen die einzuhaltenden Maßtoleranzen überprüfbar macht (**Bild 10**).

Die theoretischen Berechnungen der Segmentgeometrien dienen als Grundlage der Vermessung. Zudem sind die Abweichungen des Gradientenverlaufes aus den Verformungen aus Eigengewicht und

	Long-Line Verfahren	Short-Line Verfahren
Vorteile	gute Kontrolle der Überbageometrie	kostengünstig mit geringem Platzbedarf stationäre Anordnung der Schalung veränderliche Gradienten- und Streckenverläufe möglich gute Anpassung an variable Segmentgeometrien
Nachteile	kostenintensiv mit grossem Platzbedarf nur gerade oder konstant gekrümmte Gradienten- und Streckenverläufe Schalung muss beweglich sein viele gleiche Brückenfelder	hoher Vermessungs- und Kontrollaufwand

Bild 9. Vor- und Nachteile der Verfahren zur Segmentherstellung
Fig.9. Advantages and disadvantages of the methods of segment production

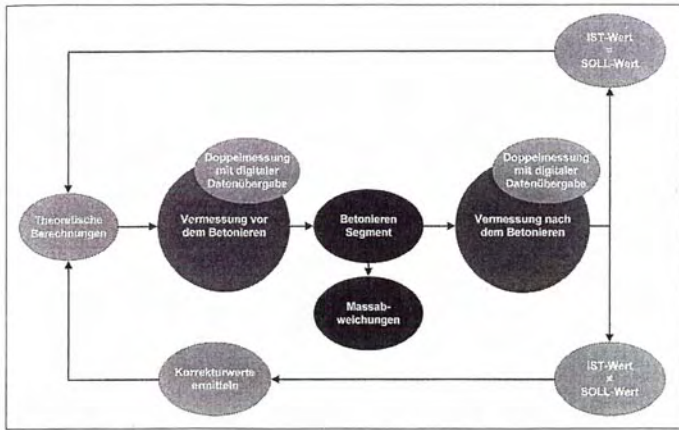


Bild 10. Vermessungsprinzip während der Segmentherstellung
Fig. 10. Surveying principle during segment production

der Vorspannung des Überbaus sowie aus Kriechen, Schwinden und Relaxation zu berücksichtigen. Maßabweichungen bei der Herstellung der Segmente sind nicht vollständig zu vermeiden, sei es durch Temperaturänderungen des Betons oder Schalungsungenauigkeiten. Aus diesem Grund müssen festgestellte Differenzen zwischen den Ist-Werten und den Soll-Werten des zuletzt betonierten Segmentes weitgehend bei der Einmessung der nachfolgenden Segmente korrigiert werden, um Fehlerakkumulationen auszuschalten. Um dabei den festgelegten Taktplan einhalten zu können, ist ein möglichst automatisiertes Vermessungsverfahren mit digitaler Datenübergabe anzustreben. Grundsätzlich sollte die Vermessung in den folgenden zwei Schritten erfolgen.

1. Vermessung vor dem Betonieren – Überprüfung der Ausrichtung des Segmentes in der Match-Cast-Position.
2. Vermessung nach dem Betonieren – Überprüfung von Lage und Abmessungen des betonierten Segmentes nach dem ersten Erhärten des Betons, aber vor dem Ausschalen und dem Entfernen des Segmentes aus der Match-Cast Position.

Im allgemeinen werden auf dem Segment 6 Vermessungspunkte festgelegt, die in Verbindung mit dem Festpunktkoordinatennetz die erforderlichen Höhen- und Längenmessungen ermöglichen.

Man sollte sich beim Entwurf des Vermessungskonzeptes immer vor Augen halten, daß mit jeder Genauigkeitssteigerung auf der einen Seite auch der Aufwand für die Fertigung und damit die Kosten steigen, aber auf der anderen Seite Schwierigkeiten in der Paßgenauigkeit und Nacharbeiten reduziert werden. Oder anders ausgedrückt, je größer die zulässigen Toleranzen sind, um so geringer fallen die Fertigungskosten aus, aber desto höher ist der Aufwand für die Beseitigung etwaiger Mängel aus Ungenauigkeiten [11]. Ebenso entscheidet der Genauigkeitsanspruch über die Qualifikation des Vermessungspersonals. Bei sehr komplexen Anforderungen müssen die Vermessungsarbeiten von einem eigens dafür eingesetzten Vermessungsingenieur durchgeführt werden. Bei geringeren Anforderungen können sie auch von einem guten Bauführer bewältigt werden. Zu empfehlen ist in jedem Fall eine Doppelmessung mit einer getrennten Kontrollrechnung von zwei unabhängigen Stellen. Das Konzept der Doppelmessung muß so erstellt sein, daß bei beiden Messungen unabhängige Meßwerte genommen werden und erst nach der Kontrollrechnung mit Hilfe der EDV die Ergebnisse miteinander verglichen werden können. Damit wird verhindert, daß unter Produktionsdruck Meßwerte von der ersten für die zweite Messung übernommen werden.

4.4 Herstellungstakt

Um eine kontinuierliche Produktion der Segmente zu erreichen, sollte angestrebt werden, ein Segment pro Tag und Schalung zu erstellen. Der Beton kann in diesem Fall über Nacht abbinden und am nächsten Morgen kann das Segment ausgeschalt und in die Position des neuen Match-Cast-Segmentes umgesetzt werden. Zuvor ist meist noch das Aufbringen einer teilweisen Quervorspannung erforderlich.

Der Herstellungszyklus der einzelnen Arbeitsvorgänge eines Tages unter Berücksichtigung der Vermessungs- und Kontrollvorgänge (**Bild 11**) beginnt danach mit einer Kontrollmessung des am Vortag betonierten Segmentes (N) und des Match-Cast-Segmentes (N-1) (1.). Je nach Schalungskonstruktion wird nun in einer oder mehreren Stufen die Innenschalung entfernt (2.). Im Anschluß wird das Match-Cast-Segment (N-1) von einem Hebegerät übernommen und zum Lagerplatz transportiert (3.). Das zuletzt beto-

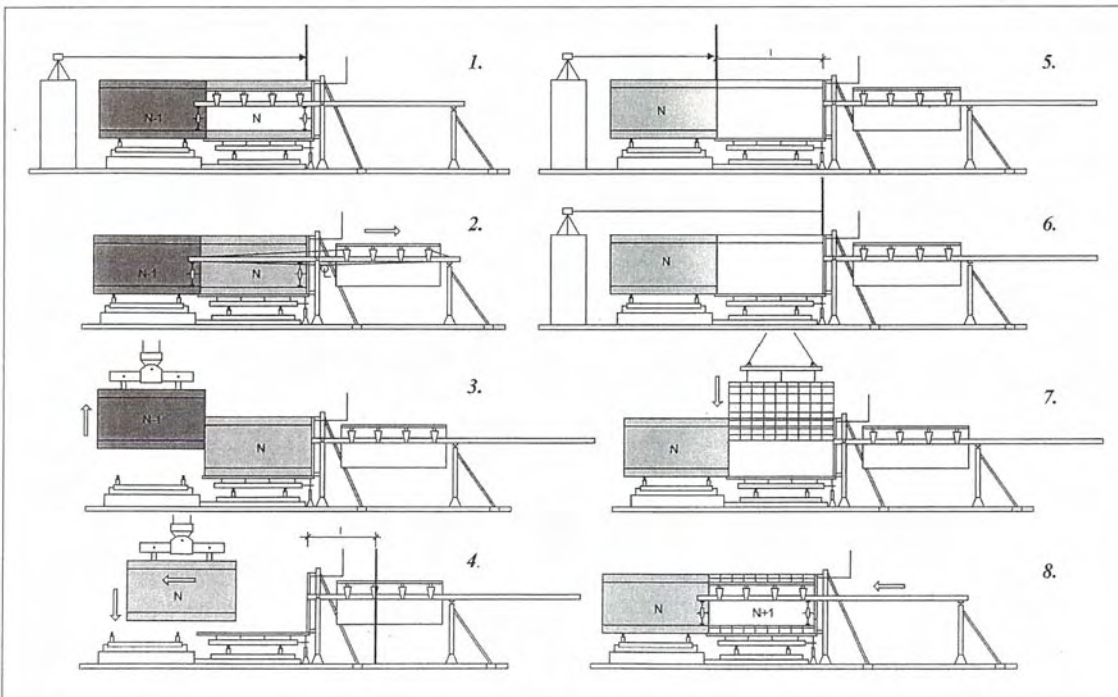


Bild 11. Zyklus der Segmentherstellung
Fig. 11. Cycle of segment production

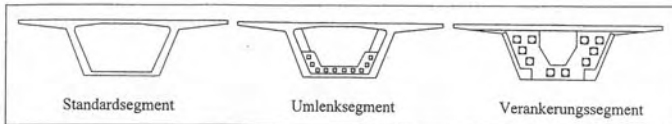


Bild 12. Schematische Darstellung der üblichen Segmentquerschnitte
Fig. 12. Schematic representation of the usual segment cross-section

nierte Segment (N) wird aus der Schalung gehoben und an die Match-Cast-Position gesetzt (4.). Als nächstes wird das neue Match-Cast-Segment (N) vertikal und horizontal eingemessen und ausgerichtet. Gleichzeitig erfolgt die Ausrichtung der hinteren Stirnabschalung (5.). Danach werden die seitlichen Schalungsteile positioniert, ihre korrekte Verbindung mit der hinteren Stirnabschalung kontrolliert und mit Hilfe der Justier- und Vermessungseinrichtungen ihre Lage den geforderten Segmentabmessungen angepaßt (6.). Nun kann der bereits erstellte Bewehrungskorb in die Schalung gesetzt werden (7.). Bevor mit dem Betonieren des neuen Segmentes (N+1) begonnen werden kann, ist die Innenschalung wiederum in einer oder mehreren Stufen an ihre Position im neuen Segment (N+1) zu bringen (8.).

4.5 Herstellungsorganisation

Die einzelnen Arbeitsvorgänge zur Herstellung der Segmente, die in einer bestimmten technischen und organisatorischen Reihenfolge ablaufen, geben den Ausschlag für die räumliche Anordnung der einzelnen Einrichtungs-elemente am Herstellungsstandort. Sie bestimmen die Fertigungsrichtung und die Aufteilung der Segmente in Fertigungsabschnitte.

Als Grundelemente der Vorfertigungseinrichtung sind zu nennen:

- Fertigungshalle/-platz der Bewehrungskörbe,
- Turmkran zum Einheben des Bewehrungskorbes und zum Betonieren,
- Stahl- oder Stahlrahmenschalungen zum Betonieren der Segmente,
- Betonmischanlage und/oder Transportbeton,
- Portalkran, Shuttelleift, etc. für den Transport der Segmente zum Lagerplatz und
- Lagerplatz.

Vom temporären Baustellenwerk können die allgemeinen Elemente der Baustelleneinrichtung, wie Unterkünfte, Büroräume, Werkstatt, Materiallager usw., der gesamten Brückenbaustelle mit genutzt werden. Beim temporären Fertigteilwerk sind sie zusätzlich zu errichten. Durch die vorhandene Infrastruktur des stationären

Fertigteilwerkes werden nur wenige Elemente der Vorfertigung, wie z.B. die Stahlschalungen, zu installieren sein.

Die Herstellung der Segmente erfolgt in Fertigungslinien. In den Abschnitten einer Fertigungslinie werden folgende Arbeiten ausgeführt:

- Vorfertigung der Bewehrung und der Spannglieder, möglicherweise konfektionierte Anlieferung,
- Vorfertigung des Bewehrungskorbes einschließlich aller Einbauteile,
- Betonherstellung oder Anlieferung,
- Betonieren des Segmentes gemäß den erläuterten Einzelschritten,
- Lagerung der fertigen Segmente.

Um die Anzahl der Arbeitsschritte gering zu halten, sollten die Bewehrung bereits im vorgebogenen Zustand und die Querspannglieder konfektioniert geliefert werden. Die Zusammensetzung des Bewehrungskorbes erfolgt in einem Stahlrahmen. Dieser Stahlrahmen dient als räumliche Schablone und gleichzeitig als Haltekonstruktion bis der Korb selbsttragend ist.

Aufgrund der Spanngliedführung besteht der Brückenüberbau meist aus Standardsegmenten, Verankerungs- und Umlenksegmenten (**Bild 12**). Dies führt meist zu mehreren Fertigungslinien.

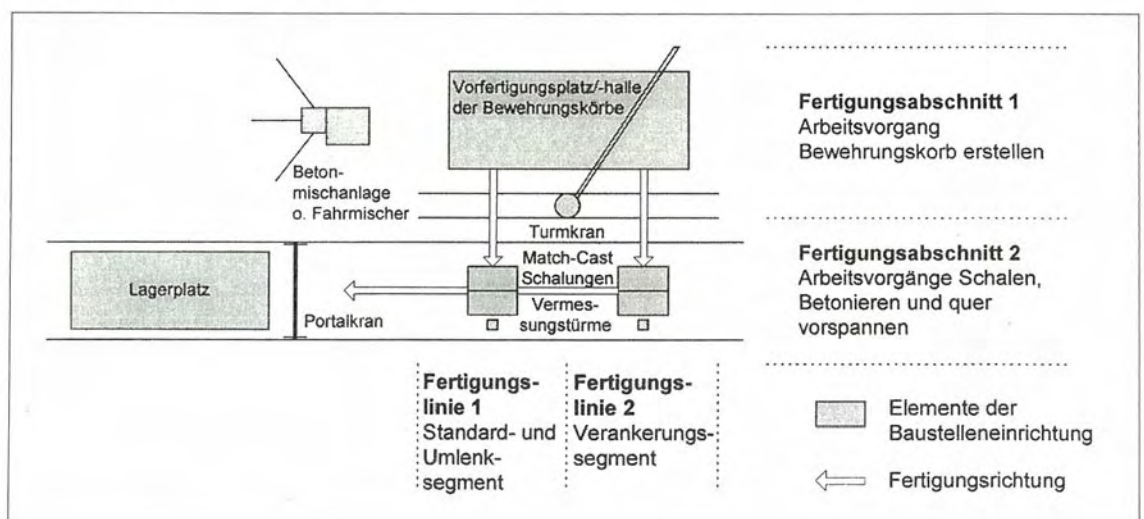
Standardsegmente und Segmente mit Umlenkblöcken können häufig auf einer Fertigungslinie erstellt werden, da die Schalung durch ein zusätzliches Innenteil zum Abschalen der Umlenkrahmen leicht anzupassen ist.

Damit ergibt sich für die Baustellenfertigung bei Anwendung des Short-Line Verfahrens die im **Bild 13** dargestellte prinzipielle räumliche Organisation der Segmentherstellung.

5 Merkmale der Segmentmontage

Auch bei der Segmentmontage sind Konstruktion und Bauverfahren interaktiv voneinander abhängig, insbesondere in Bezug auf das Brückenlängssystem. Durchlaufbrückensysteme erfordern gegenüber Einfeldsystemen Zusatzmaßnahmen, wie z.B. je eine Ort-betonfuge pro Feld, Kontinuitäts- bzw. temporäre Spannglieder. Daraus ergeben sich Auswirkungen auf den Montagetakt und die Montageorganisation. Für die folgenden Erläuterungen werden Einfeldsysteme zugrunde gelegt. Dabei wird ebenso wie bei der Segmentherstellung Wert auf eine grundlegende aber auf veränderte Randbedingungen leicht übertragbare Darstellungsweise gelegt.

Bild 13. Prinzip der räumlichen Organisation bei der Segmentherstellung
Fig. 13. Principle of the spatial organization of the segment production



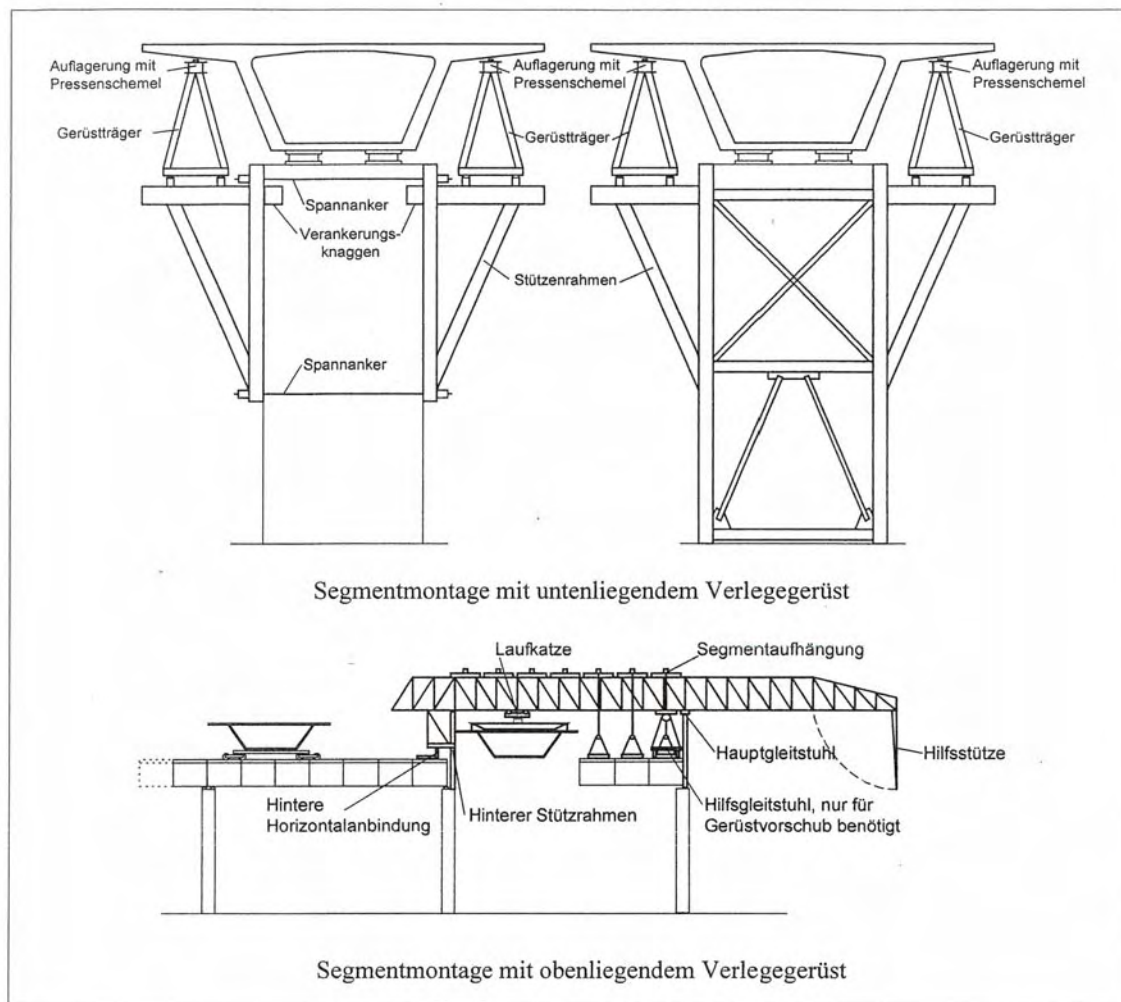


Bild 14. Prinzipieller Gerüstaufbau bei der Segmentmontage

Fig. 14. Erection of scaffolding for the segment installation on principle

5.1 Montageverfahren

Mit der Vorfertigung der Überbausegmente beschränkt sich der Fertigungsprozeß *Überbau* auf die Arbeitsvorgänge des Teilprozesses *Segmentmontage*. Damit kann der beim Teilprozeß *Segmentherstellung* zeit- und kostenoptimale Produktionsablauf bei gleichblei-

bender Fertigungsqualität durch die Verwendung mechanisierter Verlegegeräte auch für die Montage zum endgültigen Überbau auf der Baustelle genutzt werden.

Ist bei der Segmentherstellung die Schalung das Kernelement der Verfahrenskennzeichnung, so läßt bei der Segmentmontage das Verlegegerüst eine Unterteilung in zwei Verfahrenstypen zu (**Bild 14**):

- Segmentmontage mit untenliegendem Verlegegerüst und
- Segmentmontage mit obenliegendem Verlegegerüst.

Allerdings muß erwähnt werden, daß bei Anwendung der Segmentbauweise mit einem Lehrgerüst zusätzlich eine sehr kostengünstige Verfahrensvariante für kleinere Brückenbauwerke (2-feldrig) zur Verfügung steht.

Welcher Gerüsttyp eingesetzt wird, entscheidet sich in erster Linie aus der Fahrgeometrie bzw. Zugänglichkeit der Trasse. Während die Hauptanwendung des untenliegenden Gerüsts bei geraden und schwach gekrümmten Brücken liegt, ist das obenliegende Gerüst auch bei sehr kleinen Krümmungsradien einsetzbar [10].

Das untenliegende Verlegegerüst wird für die vorgeschlagenen Anwendungserweiterungen der Segmentbauweise das zu bevorzugende Gerüst sein. Dies liegt in der einfachen Gerüstkonstruktion begründet, die sich aus standardisierten Fachwerkmodulträgern, wie sie von verschiedenen Herstellern angeboten werden, flexibel und kostengünstig zusammensetzen läßt. Dadurch ist auch eine leichte Anpassung an veränderte Feldlängen möglich. Die Aufwendungen für die statischen Berechnungen, die infolge der Belastungszustände aus Vorschubphasen und Segmentverlegung aufgestellt werden müssen, sind gering. Gerade kleine Brückenbauwerke verlangen diesbezüglich einfache Betriebs- und Konstruktionskon-

	Untenliegendes Verlegegerüst	Obenliegendes Verlegegerüst
Vorteile	- einfach in Konstruktion und Berechnung - kostengünstiger - einfache Handhabung - einfache Anpassung an unterschiedliche Feldlängen	- variable Streckenverläufe möglich - direkte Aufnahme der Segmente durch Gerüst
Nachteile	- nur bei Zugänglichkeit der Pfeiler einsetzbar - nur gerade und schwach gekrümmte Streckenverläufe - zusätzliches Hebegerät für Segmentaufnahme erforderlich	- aufwendiger in Konstruktion, Berechnung und Handhabung - Vorschubzustände erfordern zusätzliche Zwischenschritte - kostenintensiver

Bild 15. Vor- und Nachteile der Verfahren zur Segmentmontage

Fig. 15. Advantages and disadvantages of the methods of the segment installation

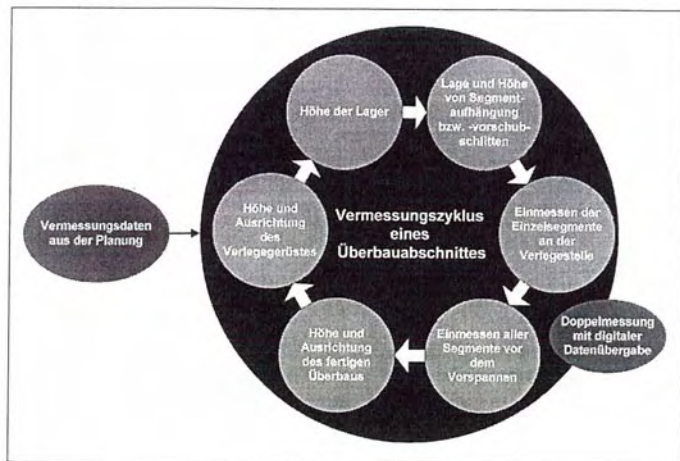


Bild 16. Vermessungsprinzip während der Segmentmontage
Fig. 16. Surveying principle during the segment installation

zepte, damit umfangreiche, zeit- und kostenintensive Vorarbeiten vermieden werden können und das Gerüst auf der Baustelle einfach zu handhaben ist. Begünstigt wird die Entscheidung zugunsten des unterliegenden Gerüsts durch die oft anzutreffenden großen Krümmungsradien kleinerer und mittlerer Brückenbauwerke. Das obenliegende Gerüst und die dazugehörigen Operationskonzepte wurden in [10] erläutert.

Ein Vergleich beider Gerüsttypen führt auf die in **Bild 15** zusammengestellten Vor- und Nachteile.

5.2 Vermessung und Kontrolle

Auf der Grundlage der Vermessungsdaten muß während der Segmentmontage die genaue Einmessung des Überbaus entsprechend dem geplanten Gradientenverlauf sichergestellt werden. Dazu sind verschiedene zyklische Vermessungen und Kontrollen pro Brückenfeld erforderlich (**Bild 16**):

- Höhe und Ausrichtung des Verlegegerüsts,
- Höhe der Lager,
- Lage und Höhe von Segmentaufhängung bzw. -vorschubschlitten,

- exakte Positionsbestimmung, Höhe und Ausrichtung der Segmente nach Erreichen der Verlegestelle,
- Ausrichtung der Segmente eines Brückenfeldes nach dem Verlegen, aber vor dem Vorspannen über die Lagerpunkte,
- Höhe und Ausrichtung des fertigen Überbaus eines Brückenfeldes.

Ausgehend von den Vermessungspunkten, mit denen bereits in der Vorfertigung die Segmente markiert wurden, wird zwischen den Pfeilersegmenten einer Spannweite eine Mittellinie definiert, die als Basis für die Ausrichtung der Überbausegmente dient. Durch die Übertragung auf die Stützen wird sie zudem für die Lagekontrolle des Verlegegerüsts herangezogen.

Die Vermessung erfolgt während des Montagevorganges. Die wichtigsten Messungen sollten möglichst zweimal und unabhängig voneinander durchgeführt werden.

5.3 Montagetakt

Der Zyklus für die Montage eines Brückenfeldes, der je nach Länge des Brückenfeldes und der Trassenführung innerhalb von 2–4 Tagen abgeschlossen sein sollte, gliedert sich in drei Arbeitsvorgänge:

- die Segmentverlegung,
- die Segmentvorspannung und
- den Vorschub des Verlegegerüsts.

Im wesentlichen sind die einzelnen Arbeitsschritte bei den Arbeitsvorgängen der Segmentverlegung und -vorspannung beim unten- und obenliegenden Verlegegerüst gleich (**Bild 17**).

Nachdem ein Segment vom Verlegegerüst übernommen wurde, wird es an seine planmäßige Position verschoben, wobei jedes Segment so gelagert bzw. aufgehängt werden muß, daß es einzeln ausgerichtet werden kann (1.). Sind alle Segmente des Brückenfeldes positioniert und ausgerichtet, werden sie über eine temporäre Vorspannung miteinander gekoppelt. Danach werden die Spannglieder eingezogen und die Vorspannung bis zu dem Punkt aufgebracht, an dem sich der Überbau selbst trägt (2.). Dann wird der Überbau mittels Pressen an den Lagern gehoben (Aktivierung des Eigengewichts) damit keine Zugspannungen im Querschnitt auftreten und die Gerüsthänger nicht überlastet werden. Danach wird meist die gesamte Vorspannung aufgebracht und anschließend die Hänger bzw. der Kontakt zu den Vorschubschlitten gelöst und das Gerüst ins

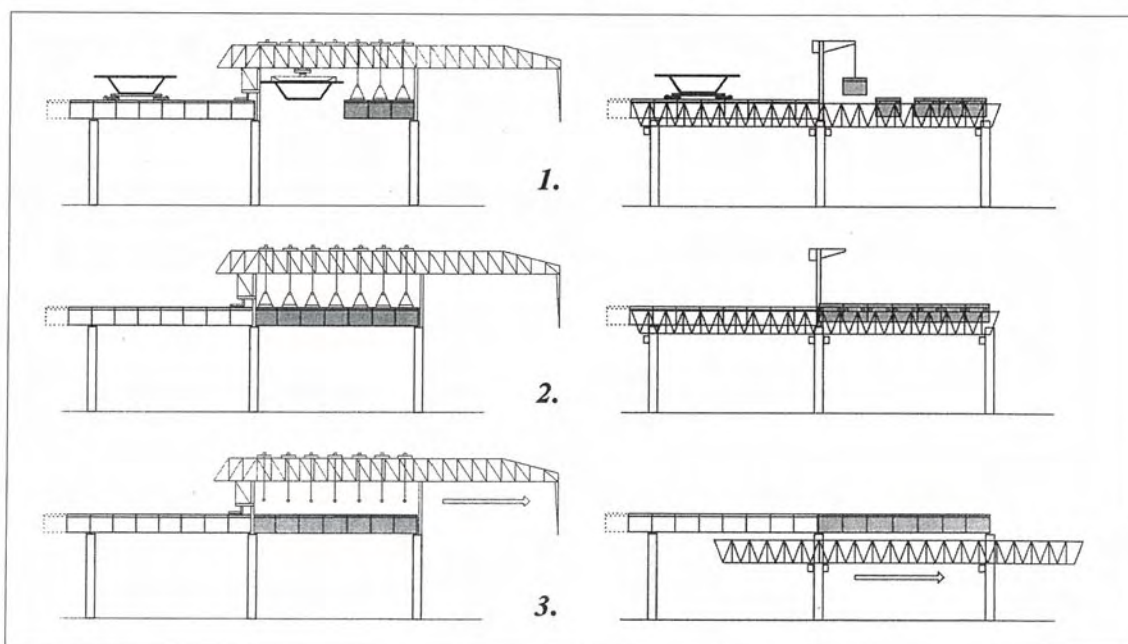


Bild 17. Zyklus der Segmentmontage
Fig. 17. Cycle of the segment installation

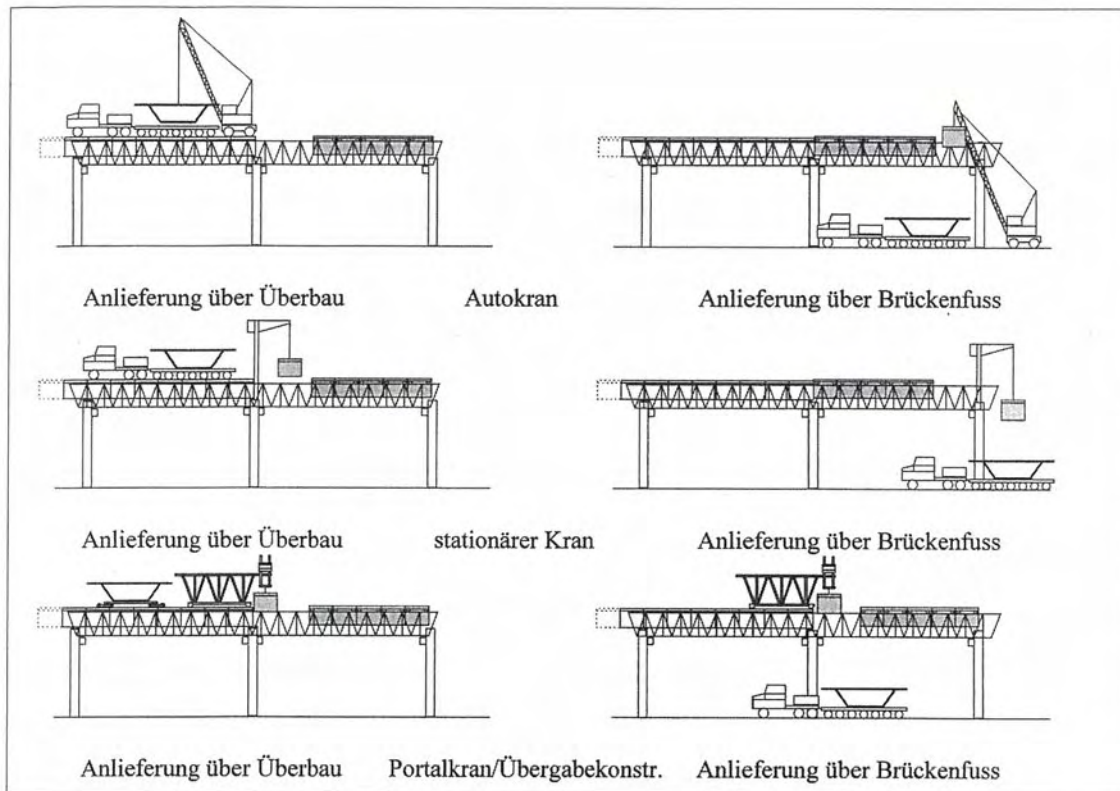


Bild 18. Anlieferung und Übergabe der Segmente
Fig. 18. Delivery and handing over of the segments

nächste Feld verschoben. Nach dem kraftschlüssigen Untergießen der Lager werden die Lagerhilfspresen freigesetzt (3.).

Beim obenliegenden Gerüst werden die Segmente mit einer Gerüstlaufkatze vom Transportfahrzeug aufgenommen und zur Verlegestelle gefahren. Dort werden sie über Hängestangen am Gerüst befestigt und mit hydraulischen Hohlkolbenpressen ausgerichtet. Beim untenliegenden Gerüst werden die Segmente mittels Kran oder Übergabekonstruktion vom Transportfahrzeug übernommen und auf Verschubwagen/-schlitten oder Pressenschemel abgesetzt und mit diesen auf den Führungsschienen des Obergurts in die Verlegeposition verschoben. Diese Vorschubschlitten sind mit Hydraulikpressen ausgestattet, die in der Verlegeposition die lagegenaue Ausrichtung der Segmente ermöglichen.

Während des Vorschubs ist das untenliegende Verlegegerüst leicht zu handhaben. In Abhängigkeit von der konstruktiven Ausbildung des Gerüsts bieten sich unter der Verwendung von Seilwinden, hydraulischen Hohlkolbenpressen mit Zug- oder Zahnstangen verschiedene Lösungen an. Die untenliegenden Verlegegerüste sind hinten und vorne mit einem leichten Vorschubsnabel ausgerüstet. Mit Hilfe dieser leichteren Schnabelkonstruktionen kann das Gerüstträgerauflager des nächsten Pfeilers ohne abhebende Kräfte erreicht werden. Schwieriger gestalten sich die Vorschubzustände beim obenliegenden Gerüst insbesondere bei gekrümmten Streckenverläufen, bei denen die Kippsicherheit des Brückenfeldes und des Gerüsts sowie die Tragfähigkeit der Lager und Hilfslager zu beachten sind [10]. Des weiteren müssen spezielle Hilfseinrichtungen, wie Hilfsgleitstühle, Nachlaufwagen usw., vorgehalten werden.

5.4 Montageorganisation

Die gesamten Arbeitsvorgänge der Segmentmontage liegen innerhalb eines Fertigungsabschnittes, der Spannweite eines Brückenfeldes. Auf wieviel Fertigungslinien der Überbau dabei erstellt wird, richtet sich u.a. nach der Anzahl nebeneinander liegender Überbauten, wie es z.B. mit zwei oder mehr Überbauten bei mehrspurigen Fahrbahnen der Fall ist. Danach können die Segmente auf

den verschiedenen Fertigungslinien nacheinander oder parallel montiert werden.

Die Anlieferung der Segmente kann auf zwei Wegen organisiert werden (**Bild 18**):

- Anlieferung vom Brückenfuß oder
- Anlieferung über den bereits fertiggestellten Überbau.

Die Zugänglichkeit der Brückentrasse bestimmt weitestgehend die Art der Anlieferung der Segmente. Die wesentlichen Randbedingungen sind Verkehrsbedingungen, Geländeverhältnisse und Brückenhöhe. Als Transportgerät vom Fertigteilwerk zur Baustelle kommen Spezialtieflader zum Einsatz, die entweder die Segmente direkt bis zur Gerüstübergabe befördern oder in ein Zwischenlager der Baustelle liefern. Das Zwischenlager dient als Puffer, um Anlieferung und Montage zu entkoppeln, benötigt allerdings zusätzlichen Platz und eine zusätzliche Hebeeinrichtung. Von dort werden die Elemente mittels Kran auf einen Flachbettwagen geladen, der über eine Vorschubeinrichtung oder Zugmaschine an das Verlegegerüst gelangt.

Die Segmentübergabe vom Transportfahrzeug auf das Verlegegerüst erfolgt bei der obenliegenden Variante direkt durch die Verlegelaufkatze des Gerüsts. Beim untenliegenden Gerüst bedarf es eines zusätzlichen Hebeegerätes. Zum Einsatz gelangen (**Bild 18**):

- Autokran am Brückenfuß oder auf dem Überbau,
- stationärer Kran auf dem Überbau
- Portalkran bzw. Übergabekonstruktion auf dem Überbau.

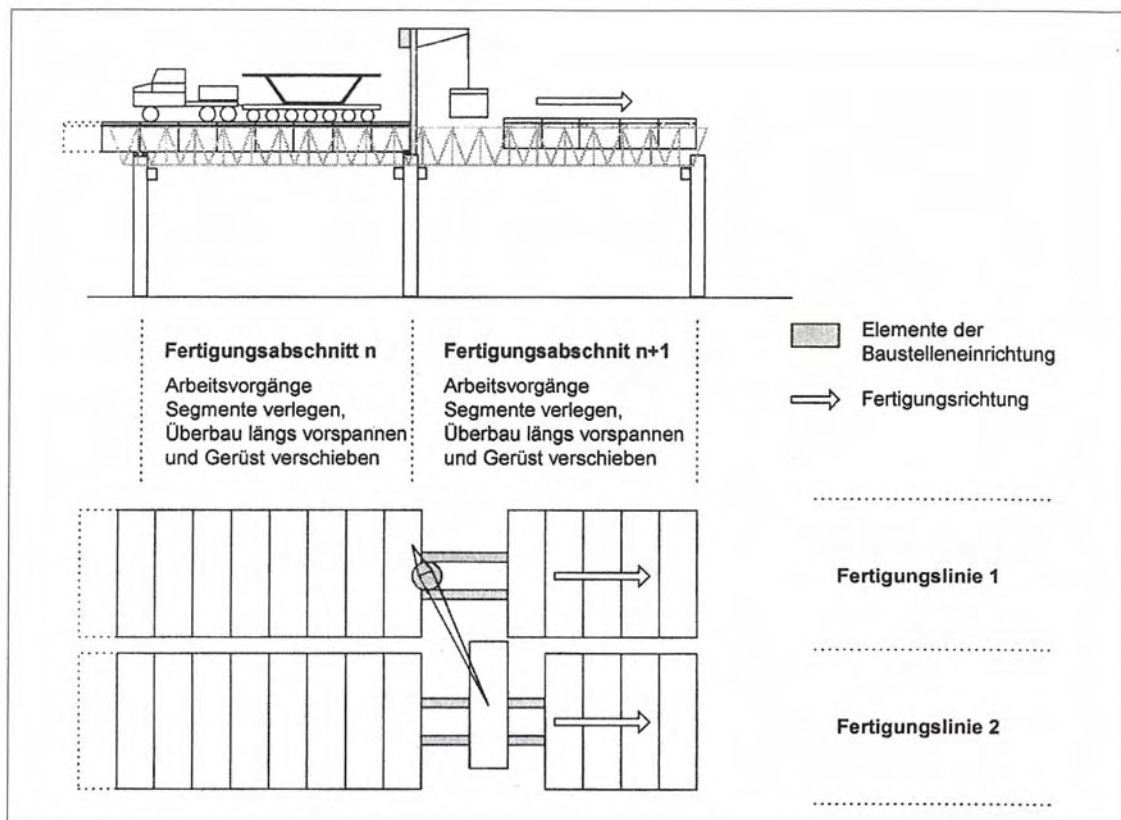
Die Entscheidung, welches Hebeegerät eingesetzt wird, ergibt sich aus den Leistungsanforderungen, der Verfügbarkeit und der wirtschaftlichen Optimierung für das Projekt.

Die prinzipielle räumliche Organisation der Montage ist für ein untenliegendes Gerüst mit stationärem Kran im **Bild 19** ersichtlich.

6 Zusammenfassung

Die Segmentbauweise mit externer Vorspannung hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Gründe für diesen Trend liegen zum einen in den konstruktiven und baubetrieb-

**Bild 19. Prinzipielle
räumliche Organisation
der Segmentmontage**
Fig. 19. Spatial organiza-
tion of the segment in-
stallation on principle



lichen Verbesserungen der Bauweise, wie z.B. der Entwicklung der Fugen- und Vorspanntechnik und dem Produktionsprozeß, und zum anderen in der Realisierung von Bauvorhaben als *Fast Track Projects*. Trugen bisher vor allem große Infrastrukturprojekte den Charakter von *Fast Track Projects* und wurden dadurch zum Hauptanwendungsgebiet der Segmentbauweise, ist auch für kleinere und mittlere Brückenprojekte diese Charakterisierung durchaus zutreffend.

Dazu wurden in diesem Beitrag Einsatzkriterien aufgestellt, die es ermöglichen sollen, die Segmentbauweise in ihrem Anwendungsbereich auch für kleinere und mittlere Brückenlängen als eine wirtschaftliche und dauerhafte Bauweise einzusetzen.

Zur genaueren Kennzeichnung eines Brückenbauvorhabens als *Fast Track Project* wurde der in der Produktionsstruktur der Segmentbauweise begründete zeitliche Vorteil gegenüber Ortbetonbauweisen dargelegt und die Möglichkeit zur weiteren Zeitersparnis aufgrund des parallelen Verlaufs von Ausführungsplanung und Bauausführung aufgezeigt.

Mit einer Kurzanalyse des Bauprozesses wurden die wichtigsten verfahrenstechnischen Merkmale der Segmentherstellung und Segmentmontage herausgearbeitet und diejenigen Anforderungen beleuchtet, die auch bei Kleinserien erfüllt werden müssen um das wirtschaftliche Potential dieser Bauweise zu nutzen. Durch die Formulierung von Entscheidungshilfen sollte in diesem Zusammenhang die Beurteilung von Organisation und maschineller Ausstattung der einsetzbaren Bauverfahren erleichtert werden.

Zudem wurde deutlich gemacht, daß die erfolgreiche Anwendung der Segmentbauweise mit externer Vorspannung in hohem Maße von der Verwirklichung einer interaktiven, fertigungsorientierten Planung des Brückenbauwerkes abhängt. Die Nutzung industrieller Produktionsmethoden wird nur durch eine optimale Zusammenarbeit von Planenden und Ausführenden realisiert.

Letztendlich kann festgestellt werden, daß die Segmentbauweise mit externer Vorspannung durchaus bauverfahrenstechnische Lösungen anbietet, die diese Bauweise auch für den deutschen und europäischen Baumarkt zu einer interessanten Alternative werden

läßt. In welchem Maße sich dabei unterschiedliche Konstruktionsprinzipien in Bezug auf die Spanngliedlage und die Brückenlängssysteme, z.B. Einfeldträger oder Durchlaufträger, durchsetzen werden, wird der Wettbewerb entscheiden.

Literatur

- [1] Vogel, T.: Externe Vorspannung – Eine Standortbestimmung. Schweizer Ingenieur u. Architekt 21 (1994) 407–409.
- [2] Jungwirth D., Hochreither H.: Externe Vorspannung: Zeitgeist oder technischer Fortschritt? Bauingenieur 67 (1992) 157–165.
- [3] Eibl, J. (Hrsg.): Externe Vorspannung und Segmentbauweise: Vorträge anlässlich des Workshops „Externe und verbundlose Vorspannung – Segmentbrücken“ an der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH) vom 5. bis 7. Oktober 1998. Berlin: Ernst & Sohn 1998.
- [4] Podolny, Jr., Muller, J. M.: Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges. New York: John Wiley & Sons 1982.
- [5] Miller, M. D.: Durability Survey of Segmental Concrete Bridges. PCI Journal May-June (1995) 110–121.
- [6] Girmscheid, G.: Entwurfs- und Konstruktionsgrundsätze von extern vorgespannten Straßenbrücken in Segmentbauart, dargestellt am Bangkok Expressway, Thailand. Beton- und Stahlbetonbau 89 Heft 3 (1994) 70–75.
- [7] Girmscheid, G.: Fast Track Projects – Anforderungen an das moderne Projektmanagement hinsichtlich der Abwicklung der Ausführungsplanung von komplexen Ingenieurbauwerken. Bautechnik 73 Heft 8 (1996) 471–484.
- [8] Girmscheid, G., Prade, W.: Bangkok Expressway, Thailand – Bau einer 35 km langen Spannbeton-Hochstraße in „Segmentbauweise“. Vorträge auf dem Deutschen Betontag 1993. Wiesbaden: Deutscher Beton-Verein E. V. 1994. (Tagungsband) 156–169.
- [9] Fiedler, K. (et al.): Technologie der Bauproduktion. 3. Auflage. Berlin: Verlag für Bauwesen 1991.
- [10] Girmscheid, G.: Spannbeton – Hochstraße in Bangkok – Planung der Ausführung. Beton- und Stahlbetonbau 88 Heft 6 (1993) 161–166.
- [11] Kotulla, B. (et al.): Industrielles Bauen. 2. Auflage. Ehningen bei Böblingen: expert 1992.
- [12] Brockmann, C.: Der Bang Na Expressway, Bangkok – Bauaufgabe, Bauausführung, Fertigteilwerk. Beton- und Stahlbetonbau 92 Heft 12 (1997) 332–337.
- [13] Dimel, E.: Nigerbrücke Ajaokuta, Nigeria – Spannbetonbrücke in Segmentbauart. Beton- und Stahlbetonbau 79 Heft 3 und 4 (1984) 57–63 und 101–107. [14] Mondorf, P. E.: Design-Construction of Precast Segmental Elevated Metro Line for Monterrey, Nuevo Leon, Mexico. PCI Journal March-April (1993) 42–56.