edition beton

Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen

Kuch / Schwabe / Palzer

Verfahren und Ausrüstungen

VERLAG BAU+TECHNIK

Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen

VLB-Meldung

Helmut Kuch / Jörg-Henry Schwabe / Ulrich Palzer
Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen
Verfahren und Ausrüstungen
Verlag Bau+Technik GmbH, 2009

eISBN 978-3-7640-0701-0

© by Verlag Bau+Technik GmbH
Gesamtproduktion: Verlag Bau+Technik GmbH,
Postfach 12 01 10, 40601 Düsseldorf
www.verlagbt.de

Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen

Verfahren und Ausrüstungen

Dozent Dr.-Ing. habil. Helmut Kuch
Dr.-Ing. Jörg-Henry Schwabe
Dr.-Ing. Ulrich Palzer

VERLAG BAU+TECHNIK

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 9

Einführung 11

1 Grundlagen 15
1.1 Prozessgrundlagen 15
1.1.1 Der Herstellungsprozess 15
1.1.2 Strukturbildende Teile des Herstellungsprozesses 15
1.1.2.1 Prozesselemente 16
1.1.2.2 Relationen zwischen den Prozesselementen 19
1.1.2.3 Prozessaufbau und -ablauf 24
1.1.3 Prozesse der industriellen Herstellung von Betonerzeugnissen 26
1.1.4 Prozessverhalten des Betons 28
1.1.4.1 Klassen des Prozessverhaltens 28
1.1.4.2 Verdichtungsverhalten des Betongemenges 28
1.1.4.3 Schwingungstechnische Grundlagen 33
1.1.5 Prozesskenngrößen 41
1.1.5.1 Kenngrößen der Prozessmakrostruktur 41
1.1.5.2 Kenngrößen der Prozessmikrostruktur 42
1.2 Stoffliche Grundlagen 47
1.2.1 Ausgangsstoffe für die Betongemengeherstellung 47
1.2.1.1 Zement 47
1.2.1.2 Gesteinskörnungen 49
1.2.1.3 Betonzusatzstoffe 51
1.2.1.4 Betonzusatzmittel 53
1.2.1.5 Anmachwasser 54
1.2.2 Betonentwurf und Betonzusammensetzung 55
1.2.3 Betoneigenschaften 59
1.2.3.1 Eigenschaften von Betongemenge/Frischbeton 59
1.2.3.2 Prüfung von Betongemenge/Frischbeton 65
1.2.3.3 Eigenschaften des Festbetons 67
1.2.3.4 Festbetonprüfung 72
1.3 Erzeugnisgrundlagen 77
1.3.1 Betonerzeugnisse 77
1.3.2 Anforderungen an Produkteigenschaften und Prüfverfahren 80
1.3.2.1 Anforderungen an kleinformatige Betonerzeugnisse 80
1.3.2.2 Anforderungen an Betonfertigteile 90
1.3.2.3 Anforderungen an Betonrohre und Betonschächte 90
1.3.3 Beurteilung der Konformität 99
1.3.3.1 Grundlegendes 99
1.3.3.2 Konformität kleinformatiger Betonerzeugnisse 100
1.3.3.3 Konformität von Betonfertigteilen 102

1.3.3.4 Konformität von Rohren und Schächten 103
1.4 Ausrüstungstechnische Grundlagen....104
1.4.1 Schwingungserregersysteme....104
1.4.2 Forschung und Entwicklung 107
1.4.2.1 Modellierung und Simulation des Verarbeitungsverhaltens von Gemengen....108
1.4.2.2 Maschinendynamische Modellierung und Simulation von Fertigungsausrüstungen 111

2 Betongemengeherstellung 115
2.1 Mischanlagen....115
2.1.1 Sternanlagen....115
2.1.2 Reihenanlagen 116
2.1.3 Turmanlagen 117
2.2 Mischer 118
2.2.1 Tellermischer 119
2.2.1.1 Ringtellermischer 119
2.2.1.2 Planetenmischer 120
2.2.1.3 Gegenstrommischer....121
2.2.2 Trogmischer 121
2.3 Qualitätssicherung 123
2.3.1 Beurteilung der Mischgüte....123
2.3.2 Feuchtemessung 125
2.3.3 Mischersteuerung 126

3 Herstellung kleinformatiger Betonerzeugnisse....127
3.1 Übersicht....127
3.2 Steinformmaschinen 129
3.2.1 Technologische Linie....129
3.2.2 Aufbau von Steinformmaschinen....132
3.2.2.1 Fülleinrichtung....134
3.2.2.2 Verdichtungseinrichtung 137
3.2.3 Auslegung von Steinformmaschinen 145
3.2.3.1 Bewegungsverhalten 145
3.2.3.2 Konstruktive Auslegung 147
3.2.3.3 Fundamentierung....151
3.2.4 Qualitätssicherung 152
3.2.4.1 Sinn und Zweck von Qualitätssicherungsmaßnahmen....152
3.2.4.2 Grundlegende Prinzipien der Qualitätsüberwachung 153
3.2.4.3 Lösungsansätze und ausgewählte Beispiele für die produktionsbegleitende Qualitätsüberwachung 154
3.2.4.4 Einbeziehung moderner Prozessleitsysteme in die Qualitätsüberwachung....155
3.2.4.5 Qualitätskriterien....155
3.2.4.6 Produktionsbegleitende Qualitätssicherheitsmaßnahmen 156

3.3 Bodenfertiger 162
3.3.1 Verwendungszweck 162
3.3.2 Aufbau und Funktionsweise 162
3.4 Plattenpressen 166
3.4.1 Verwendungszweck 166
3.4.2 Aufbau und Funktionsweise 166
3.4.2.1 Drehtischanordnung 169
3.4.2.2 Schiebetischanordnung 169
3.5 Herstellung von Betondachsteinen 169
3.5.1 Gießverfahren 170
3.5.2 Strangpressverfahren 170
3.5.3 Qualitätssicherung 172
3.6 Nachbehandlung und Nachbearbeitung 173
3.6.1 Veredlung von Frischprodukten 173
3.6.2 Veredlung ausgehärteter Produkte 174
3.7 Auswahlkriterien 176

4 Herstellung von Betonrohren und -schächten 179
4.1 Herstellungsverfahren 179
4.2 Bewehrungsherstellung 185
4.3 Rohrfertiger mit stehendem Kern 185
4.4 Rohrfertiger mit steigendem Kern 187
4.5 Rollenkopffertigung 189
4.6 Wet-cast-Verfahren 192
4.7 Herstellung von Schachtringen und -unterteilen 197
4.8 Nachbehandlung und Rohrprüfung 200
4.9 Qualitätssicherung, Fehlerbilder 201
4.9.1 Typische Mängel an Rohren und ihre Ursache 201
4.9.1.1 Verdichtungsgrad 201
4.9.1.2 Lokale Verdichtungsmängel 203
4.9.1.3 Bewehrungsschatten 205
4.9.2 Qualitätssicherung im Fertigungsprozess 206
4.10 Auswahlkriterien 208

5 Herstellung von Betonfertigteilen 209
5.1 Übersicht 209
5.2 Grundstruktur von Herstellungssystemen 212
5.3 Umlauffertigung 212
5.3.1 Grundstrukturen 212
5.3.2 Teilsysteme 213
5.3.2.1 Formen 214
5.3.2.2 Reinigungs- und Trennmittelaufbringgeräte 215
5.3.2.3 Plotter und Schalungsroboter 216
5.3.2.4 Betongemengeverteiler 217
5.3.2.5 Verdichtungseinrichtungen 218

5.3.2.6 Entformung 218
5.3.3 Gesamtanlagen mit Umlauffertigung 219
5.4 Standfertigung 220
5.4.1 Grundstrukturen 220
5.4.2 Teilsysteme 220
5.4.2.1 Einzelformen 220
5.4.2.2 Batterieformen 223
5.4.2.3 Formbahnen 225
5.4.2.4 Strangformen 226
5.4.2.5 Spannbahnen 227
5.4.3 Gesamtanlagen der Standfertigung 232
5.5 Kombinierte Fertigung 233
5.6 Nachbehandlung und Nachbearbeitung 234
5.6.1 Erhärtungseinrichtungen 234
5.6.2 Nachbearbeitung 235
5.7 Qualitätssicherung 236
5.7.1 Gestaltung von Vibrationsformen 237
5.7.1.1 Systematisierung von Vibrationsformen 237
5.7.1.2 Maschinendynamische Modellierung und Simulation 238
5.7.1.3 Innovative technische Lösungen 240
5.7.2 Produktionsbegleitende Qualitätssicherung 242
5.8 Auswahlkriterien 245

6 Ausblick 249

7 Literaturverzeichnis 251

8 Stichwortverzeichnis 261

Vorwort

Beton ist einer der wichtigsten Baustoffe unserer Zeit. Industriell vorgefertigte Betonwaren und Betonfertigteile können die Leistungsfähigkeit des Betons voll zur Geltung bringen und haben dabei wesentliche Vorteile für den Bauprozess. Die flexible Einsetzbarkeit von vorgefertigten Betonerzeugnissen zeigt sich in einer ständig zunehmenden Vielfalt hinsichtlich

– Frischbetonzusammensetzungen und -eigenschaften,
– äußerer Geometrie und Gestalt,
– Oberflächen bezüglich Farbe und Gestaltung sowie
– Erzeugniseigenschaften (Qualität).

Hieraus ergeben sich Anforderungen sowohl an die Hersteller entsprechender Fertigungsausrüstungen als auch deren Betreiber, also die Betonwerke.

Insbesondere geht es dabei um die Realisierung einer flexiblen Fertigung. Diese Aussage bezieht sich auf alle vier Komponenten des Verarbeitungsprozesses, nämlich

– stoffliche Aspekte,
– technologische Prozesse,
– technische Ausrüstungen und
– Erzeugniseigenschaften (Qualität).

Die komplexe Betrachtung dieser Komponenten ist die Voraussetzung für eine qualitätsgerechte Produktion von Betonwaren und Betonfertigteilen.

Eine umfassende Darstellung dieser Zusammenhänge fehlt bisher in der einschlägigen Fachliteratur.

Die Autoren nutzen dabei ihre langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Fertigteiltechnik an der Bauhaus-Universität Weimar und dem 1992 gegründeten Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e. V. sowie die umfangreichen und engen Kontakte zur Industrie.

Hierbei war es das Anliegen der Verfasser, moderne Untersuchungs- und Berechnungsmethoden aus benachbarten Wissensgebieten in der Fertigteiltechnik anzuwenden. Das betrifft beispielsweise die Modellierung und Simulation des Verarbeitungsverhaltens von Gemengen, die Nutzung der neuesten Erkenntnisse der Maschinendynamik für die Konstruktion von Fertigungsausrüstungen und die Anwendung moderner Mess- und Automatisierungstechnik für die Qualitätssicherung.

Wir bedanken uns bei allen, die an der Entstehung dieses Buches mitgewirkt haben.

Unser besonderer Dank gilt dabei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Kaysser, Herrn Dipl.-Ing. Steffen Mothes und Herrn Dipl.-Phys. Günter Becker für die aktive Mitarbeit.

In gleicher Weise bedanken wir uns bei den zahlreichen Unternehmen, die uns durch die Bereitstellung von Bildmaterial unterstützt haben.

Die Autoren bedanken sich insbesondere bei den folgenden Unternehmen für die Bereitstellung von Informationen und Bildmaterial bei der Erstellung des Buches:

Avermann, Osnabrück; BETA Maschinenbau, Heringen; BHS Sondhofen; Dreßler Bau, Stockstadt; EBAWE Eilenburg; Eirich, Hardheim; Elematic, Nidda; Fritz Hermann, Kleinhelmsdorf; Hess, Burbach-Wahlbach; HOWAL, Ettlingen; Knauer Engineering, Geretsried; KOBRA, Lengenfeld; Hawkeye Pedershaab, Bronderslev, Dänemark; Liebherr-Mischtechnik, Bad Schussenried; NUSPL BETON-WERKSEINRICHTUNGEN, Karlsruhe-Neureut; PRAEFA, Neubrandenburg; Prinzing, Blaubeuren; Rampf, Allmendingen; REKERS, Spelle; Ruf, Willburgstetten; Schindler, Regensburg; Schlosser-Pfeiffer, Aarbergen; Schlüsselbauer, Gaspoltshofen, Österreich; Sommer, Altheim; Technoplan, Seyda; Vollert, Weinsberg; Wacker, München; Weckenmann, Dormettingen; Weiler, Bingen; Wiggert, Karlsruhe; ZENITH, Neunkirchen

Wir bedanken uns speziell bei den folgenden Personen, die in vielfältiger Weise zur Gestaltung des Buches beigetragen haben:

Heike Becker
Dipl.-Ing. Jens Biehl
Dipl.-Ing. Frank Bombien
Dipl.-Ing. Tobias Grütze
Dr.-Ing. Barbara Janorschke
Dipl.-Ing. Jürgen Martin
Kerstin Meyer
Dr.-Ing. Simone Palzer
Dipl.-Ing. Christina Volland
Dipl.-Ing. Markus Walter

Die Autoren
Weimar, August 2009

Einführung

Die Entwicklung des modernen Stahlbetonfertigteilbaus zu einer Form des industrialisierten Bauens hat sich erst in den letzten 60 Jahren vollzogen. Erste Versuche zum Bauen mit tragenden Stahlbetonfertigteilen sind um die Wende zum 20. Jahrhundert zu verzeichnen, wie z. B. 1891 beim Casinobau in Biarritz (Coignet) bzw. 1896 die vorgefertigten Bahnwärterhäuser (Hennebique, Züblin). Die Entwicklung setzt sich in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts in ganz Europa und in den USA fort. Der eigentliche Durchbruch der Fertigteilbauweise kam nach dem 2. Weltkrieg. Der enorme Wohnraumbedarf stellte die Bauwirtschaft vor eine gewaltige Bauaufgabe. Die Bausystementwicklungen der Franzosen (z. B. Camus, Estiot) und der Skandinavier (z. B. Larsson, Nielsen) haben in dieser Zeit entscheidende Impulse für den Großtafelbau gebracht. Der ansteigende Facharbeitermangel führte zur Werkfertigung und verhalf dem Fertigteilbau somit zum Durchbruch. Neben industrialisierten Wohnungsbausystemen entwickelte sich durch den verstärkten Ausbau des Bildungswesens der Skelettbau als Tragwerk mit Stützen, Trägern und weit gespannten Deckenplatten zur vollen Reife. Der Industrie- und Sportstättenbau brachte Typenprogramme aus vorgefertigten Stützen, vorgespannten Doppel-T-Bindern und Pfetten bzw. Sheddächern hervor.

Parallel dazu verlief die Entwicklung entsprechender Betonerzeugnisse für die zugehörige Infrastruktur über und unter der Erde, der sogenannten Betonwaren.

Sowohl für die Vorfertigung von Betonfertigteilen als auch für die schier unendliche Vielfalt an kleinformatigen Betonerzeugnissen waren entsprechende Fertigungsausrüstungen erforderlich. Dieser Aufgabe hat sich insbesondere die deutsche Baustoffmaschinenindustrie gestellt. Sie ist heute auf dem Weltmarkt führend. Dabei waren hauptsächlich auch die stofflichen Entwicklungen zu berücksichtigen, die die Fertigteiltechnik ganz wesentlich beeinflussen.

War Beton noch vor ca. 25 Jahren das klassische Dreistoffgemisch aus Zement, Wasser und Gesteinskörnung, enthält er heute neben den drei Hauptbestandteilen noch Zusatzmittel (Verflüssiger, Verzögerer) und Zusatzstoffe (Steinkohlenflugaschen). Diese Entwicklung hat eine erhebliche Erweiterung des Leistungsspektrums von Betonen ermöglicht. Dazu zählen hochfeste Betone, Faserbetone und Selbstverdichtende Betone.

Die Materialentwicklungen im Betonfertigbau sind des Weiteren gekennzeichnet durch die Optimierung von Leichtbetonen mit Hilfe von geeigneten Leichtgesteinskörnungen wie Blähton, Blähschiefer, Blähglas, Bims, Lava, Leichtsand, Perlite oder durch künstlich eingeführte Poren oder Schäume. Hochleistungsfeinkornbetone und Textilbetone verzeichnen in Kombination mit neuen Konstruktions- und Verarbeitungsprinzipien neue Einsatzbereiche. Chemische Zusatzmittel haben einen unverzichtbaren Anteil daran, den Baustoff nachhaltiger zu machen, schlankere Bauteile zu ermöglichen und den Rohstoff Beton gezielt und sparsam einzusetzen.

Faserbewehrungen zur Verbesserung von Zähigkeit, Tragfähigkeit und Risssicherheit des spröden Werkstoffs Beton zählen zum Stand der Technik. Durch Einsatz von textilen Armierungen in Form von Matten, Fasern aus Kohlenstoff-, Glas-, Basalt- und Kunststofffasern zeichnen sich Neuentwicklungen in Hinblick auf Dichtigkeit, Konstruktion, Tragfähigkeit, Material- und Oberflächenqualität ab.

Glasfaserverstärkte Kunststoffbewehrungen erschließen neue Märkte aufgrund neuer Materialqualitäten (korrosionsbeständig, nicht elektrisch leitend, nicht magnetisch und resistent gegen chemischen Angriff).

Die Motivation für Neuentwicklungen in der Beton- und Fertigteilindustrie liegt einerseits in steigenden Energie- und Rohstoffkosten und andererseits in steigenden Anforderungen an die Qualität der Bauteile. Diese qualitativen Anforderungen werden bestimmt vom Wärmeschutz, von der Dauerhaftigkeit der Bauteile gegenüber Umwelteinflüssen und anderen Eigenschaften, die vom speziellen Nutzungszweck abhängen.

Die Gestaltungsmöglichkeiten für Betonerzeugnisse werden ihre Einsatzmöglichkeiten erweitern. Das betrifft beispielsweise bearbeitete Betonflächen, z. B. durch Auswaschen, Feinwaschen, Absäuern, Strahlen, Flammstrahlen, Schleifen, steinmetzmäßige Bearbeitung und farbig gestaltete Betonoberflächen durch Zemente, Gesteinskörnungen, Pigmente, Anstriche und Fotobetone.

Die Realisierung all dieser Möglichkeiten zu einer vielfältigen Gestaltung von Betonerzeugnissen im o. g. Sinne erfordert entsprechende Verfahren und Ausrüstungen zu deren Herstellung.

Diesem Anliegen widmet sich das vorliegende Buch. Das Buch wendet sich an alle, die mit der Herstellung von vorgefertigten Betonerzeugnissen zu tun haben. Das sind:

– die Hersteller von technischen Fertigungsausrüstungen,
– die Nutzer und Betreiber dieser technischen Mittel, also die Betonwerke,
– Studierende in Aus- und Weiterbildung,
– Forscher und Entwickler von Verfahren und Ausrüstungen der Fertigteiltechnik.

Die gegenwärtige Situation zeigt sich einerseits in einer zunehmenden Vielfalt an Betonerzeugnissen, andererseits in einer weit gehenden Variabilität sowie Steuerungs- und Regelungsmöglichkeit der dazu erforderlichen, auf dem Markt befindlichen technischen Ausrüstungen.

Es geht dabei um eine flexible Fertigung von vorgefertigten Betonerzeugnissen mit hoher Qualität. Die hierzu unbedingt erforderliche Herstellung einer komplexen Korrelation zwischen den Komponenten des Verarbeitungsprozesses von Beton, nämlich:

– stoffliche Aspekte,
– technologische Prozesse,

– technische Ausrüstungen und
– Erzeugniseigenschaften (Qualität)

geschieht derzeit häufig noch auf empirischem Wege.

Die Beherrschung dieser komplexen Prozesse setzt ein möglichst harmonisches Miteinander aller Beteiligten voraus. Das betrifft insbesondere die Hersteller und Betreiber von Fertigungsausrüstungen. Unabdingbare Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis notwendiger, grundlegender Zusammenhänge.

Wie die langjährigen, vielfältigen Erfahrungen der Autoren bei der Zusammenarbeit mit der Industrie deutlich gemacht haben, besteht hier eine echte Lücke in der Fachliteratur zur Fertigteiltechnik. Dies war die Motivation für die Vorlage dieses Buches.

Die notwendigen Grundlagen für die Verdeutlichung dieser Zusammenhänge werden im Kapitel 1 dieses Buches dargestellt.

Zunächst wird der Herstellungsprozess für Betonerzeugnisse durch seine Prozesselemente, seinen Prozessaufbau und den Prozessablauf beschrieben. Bei der Charakterisierung des Prozessverhaltens von Beton wird speziell auf die Formgebung und Verdichtung von Betongemenge eingegangen. Hierzu werden entsprechende Prozesskenngrößen definiert.

Dementsprechend werden bei den stofflichen Grundlagen die Ausgangsstoffe für die Betongemengeherstellung und der Betonentwurf dargestellt. Hierbei wird die vollzogene Entwicklung vom Drei- zum Fünfstoffsystem deutlich gemacht. Von bisher häufigen empirischen Lösungen geht der Weg hin zur Prozessoptimierung und Simulation. Hieraus ergeben sich die Eigenschaften von Betongemenge, Frischbeton und Festbeton sowie deren Prüfung.

Bei der Darstellung der Erzeugnisgrundlagen erfolgt zunächst eine klare Definition derjenigen Betonerzeugnisse und Erzeugnisgruppen, deren Fertigung in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben wird. Danach folgt eine Charakterisierung der Anforderungen an die Produkteigenschaften und eine Beschreibung der entsprechenden Prüfverfahren.

Bei den ausrüstungstechnischen Grundlagen wird zunächst auf die für die Fertigung von Betonerzeugnissen wichtigen und in vielfältiger Form immer wiederkehrenden vibrationstechnischen Ausrüstungen eingegangen.

Anschließend erfolgt die Beschreibung der Situation hinsichtlich der Modellierung und Simulation des Verarbeitungsverhaltens von Gemengen. Diese Möglichkeit der Untersuchung verarbeitungstechnischer Prozesse wird in Verbindung mit labor-, klein- und großtechnischen Untersuchungen in zunehmendem Maße angewendet. Die Entwicklung entsprechender Hard- und Software wird diese Tendenz unterstützen. Die Anwendung dieser Grundlagen wird im Kapitel 2, in dem übergreifend für alle vorgefertigten

Betonerzeugnisse die Verfahren und Ausrüstungen zur Gemengeherstellung dargestellt werden, demonstriert.

Die gleichen Aussagen treffen bezüglich der maschinendynamischen Modellierung und Simulation von Fertigungsausrüstungen zu. Mit Hilfe der Modellierung von technischen Ausrüstungen durch:

– Mehrkörpersysteme und
– die Finite-Elemente-Methode (FEM)

können Bewegungsvorgänge aber auch Spannungen bei dynamischer Belastung untersucht werden. Die Anwendung dieser Berechnungsmöglichkeiten erfolgt nachfolgend bei der Beschreibung der einzelnen technischen Ausrüstungen.

Die folgende Beschreibung der Verfahren und Ausrüstungen zur Herstellung von Betonerzeugnissen erfolgt auf der Basis der Erzeugnisgruppen.

Es wird eine Untergliederung in:

– Herstellung kleinformatiger Betonerzeugnisse
– Herstellung von Betonrohren und -schächten
– Herstellung von Betonfertigteilen

vorgenommen.

Hierbei spielen die zu erzielenden Erzeugniseigenschaften eine wesentliche Rolle. Damit gewinnt insbesondere auch die produktionsbegleitende Qualitätskontrolle ständig an Bedeutung. Voraussetzung für deren Umsetzung ist die Anwendung einer modernen Mess- und Automatisierungstechnik. Auf diese Gesichtspunkte wird eingegangen.

Nicht zuletzt sind bei der Fertigung von Betonerzeugnissen die Gesichtspunkte der Lärm- und Schwingungsabwehr zu beachten. Auch diese Probleme finden nachfolgend Berücksichtigung.

1 Grundlagen

1.1 Prozessgrundlagen

1.1.1 Der Herstellungsprozess

Die Produktion, also die Herstellung von Betonerzeugnissen, stellt einen Prozess dar, der wie alle Prozesse Systemcharakter besitzt. Die schematische Darstellung im Bild 1.1 gibt die Ränder des Systems „Herstellungsprozess“ wieder.

Bild 1.1:
Der Herstellungsprozess
E Eingangsgrößen
A Ausgangsgrößen
U Umstände
N Nebenwirkungen

Die Grundeigenschaften dieses Herstellungsprozesses sind wie bei allen Systemen Funktion und Struktur. Die Funktion des Herstellungsprozesses ist eine Zustandsänderung, also die Überführung von bestimmten Eingangsgrößen wie Stoff, Energie, Information in bestimmte Ausgangsgrößen, wie Zwischenprodukte und Fertigprodukte. Die Struktur des Herstellungsprozesses dient der Erfüllung der Funktion und umfasst eine Menge von Elementen, die durch entsprechende Beziehungen (Relationen) untereinander verbunden sind.

Der Herstellungsprozess unterliegt bestimmten Bedingungen, die bei seiner Planung, Vorbereitung und Durchführung berücksichtigt werden müssen. Das sind:

– Umstände, die die Funktionserfüllung begrenzen, an der Eingangsseite; dazu gehören die Raumbedingungen, vorhandene Ausrüstungen und die Versorgungsbedingungen.
– Nebenbedingungen, die infolge der Funktionserfüllung entstehen; an der Ausgangsseite; das sind Emissionen und Anfallstoffe.

1.1.2 Strukturbildende Teile des Herstellungsprozesses

Der Prozess zur Herstellung von Betonerzeugnissen ist ein komplexes dynamisches System von Elementen der Technik und Organisation.

Prozesselemente sind die makrotechnologisch nicht mehr teilbaren Grundoperationen, also Grundvorgänge bzw. Grundprozesse. Als Beziehungen (Relationen) zwischen den

Prozesselementen existieren funktional bedingte zeitliche, räumliche und mengenmäßige Anordnungen und Kopplungen. Diese erzeugen den Prozessaufbau und den Prozessablauf in Raum und Zeit.

Somit sind zur vollständigen Beschreibung des Herstellungsprozesses zu bestimmen:

– Prozesselemente
– Prozessaufbau
– Prozessablauf

1.1.2.1 Prozesselemente

Das Prozesselement Grundoperation besitzt wie alle Prozesse Funktion und Struktur. Die Funktion der Grundoperation ist die elementare Zustandsänderung des Änderungsgegenstandes in Richtung Erzeugnis. Sie ist auf die Erreichung eines bestimmten Zwischenzustands gerichtet.

Alle überhaupt existierenden Gegenstände sind ausnahmslos in folgende Hauptgruppen einordbar:

Stoff - Energie - Information

Ihre Veränderung wird durch Grundoperationen verschiedener Veränderungsarten vorgenommen, die ausschließlich in die Gruppen

Fertigen - Fördern - Lagern

aufnehmbar sind.

Je nach der für sie infrage kommenden Veränderungsart sind die Grundoperationen als bestimmende Elemente des Herstellungsprozesses in allgemeinster Funktionsbeschreibung:

a) Fertigungselemente
b) Förderelemente
c) Lagerelemente

Im Hinblick auf den Gesamtherstellungsprozess ergeben sich aus der Charakteristik seiner Elemente auch seine Bestandteile:

1 Herstellungstechnik und -organisation
  1.1 Fertigungstechnik und -organisation
  1.2 Fördertechnik und -organisation
  1.3 Lagertechnik und -organisation

2 Herstellungsbedingte Technik und -organisation
  2.1 Ver- sowie Entsorgungstechnik und -organisation
  2.2 Wartungstechnik und -organisation
  2.3 Sicherheitstechnik und -organisation
  2.4 Kontrolltechnik und -organisation

Die Struktur der Grundoperationen gehört zum Bereich der technologischen Mikrostruktur (Bild 1.2).

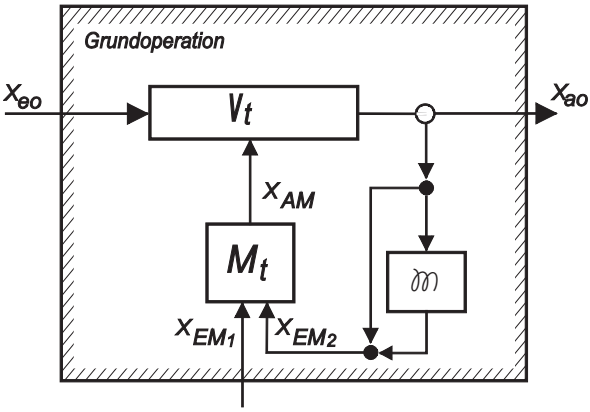


Bild 1.2:
Struktur der Grundoperation

Strukturelemente sind demzufolge:

– Änderungsgegenstand (X_e, X_a),
– technologisches Verfahren (V_t),
– technische Mittel (M_t),
– menschliche Arbeitskraft ($\mathfrak{M}$).

In der Grundoperation wirkt der Mensch unmittelbar oder mittelbar mit einem technischen Mittel auf den Änderungsgegenstand ein, um ihn zweckgerichtet zu verändern. Auf welche prinzipielle Art und Weise das vonstatten geht, wird durch das technologische Verfahren ausgedrückt. Unter technologischen Verfahren ist demzufolge die Normalform der Art und Weise zu verstehen, mit der naturwissenschaftliche Effekte zur zweckbestimmten Veränderung des Gegenstands technisch realisiert werden. Das technologische Verfahren existiert selbst nicht gegenständlich, sondern ist gewissermaßen dem technischen Mittel immanent, das seine Funktion im technologischen Prozess realisiert.

Das technische Mittel stellt einen technischen Gegenstand mit Systemcharakter – ein technisches Gebilde (technische Ausrüstung) – dar. Die Funktion des technischen Mittels ist die Realisierung eines oder mehrerer technologischer Verfahren im technolo-

gischen Prozess. Entsprechend dieser Funktion ist eine Gruppierung analog der Funktionsbeziehung der Grundoperationen nach Art der Veränderung sinnvoll:

– Fertigungsmittel
– Fördermittel
– Lagermittel

Es ist aber auch eine Ordnung der technischen Mittel nach dem Gegenstand der Veränderung möglich:

– Stoffdeterminierte Mittel
– Energiedeterminierte Mittel
– Informationsdeterminierte Mittel

Die Menge der stoffdeterminierten Mittel umfasst alle technischen Mittel, die der Zustandsänderung von Stoffen in allgemeinstem Sinne dienen. Das sind alle Ausrüstungen (Maschinen, Apparate, Geräte und Einrichtungen), die zur Herstellung von Gebrauchsgütern aus Stoff verwendet werden.

Zu den energiedeterminierten Mitteln gehören alle technischen Mittel, die Energie verändern oder umformen. Das sind beispielsweise Antriebsmotoren, Dampferzeuger, Trafoanlagen, Energieverteilungen.

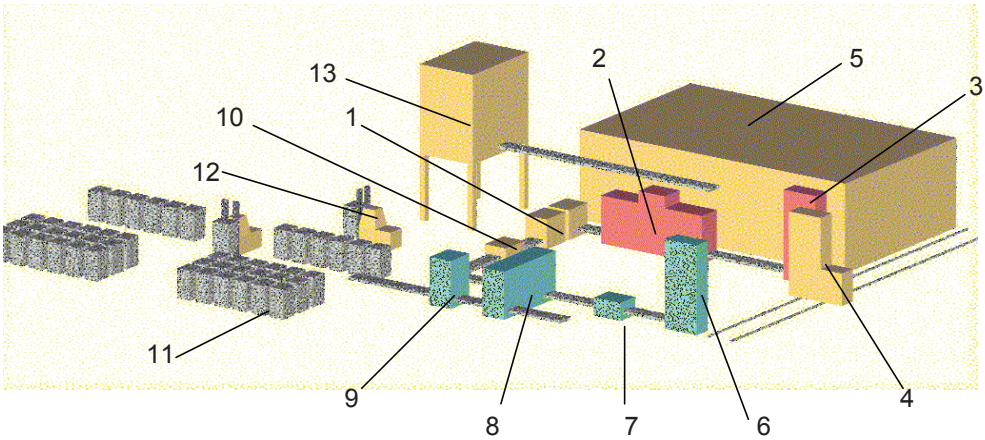


Bild 1.3: Technologische Linie (Anlage) zur Herstellung von Betonwaren

1 Plattenpuffer
2 Steinfertiger
3 Hubleiter
4 Schiebebühne mit Oberwagen
5 Hochregal/Härtekammer
6 Senkleiter
7 Qualitätskontrolle
8 Umsetz- und Stapeleinrichtung
9 Umreifungsanlage
10 Reinigen, Wenden und Stapeln der Paletten
11 Lager versandfertiger Produkte
12 Transporttechnik
13 Gemengeaufbereitung und -zustellung

In die Menge der informationsdeterminierten Mittel ordnen sich alle technischen Mittel ein, die der Informationsverarbeitung dienen. Das sind Einrichtungen der EDV, Signalanlagen, Messtechnik, Wäge- und Dosiereinrichtungen.

Die gekoppelte Menge der technischen Mittel im Herstellungsprozess stellt die Herstellungsanlage dar, die als Gesamtgebilde (Technologische Linie) erst den Herstellungsprozess zu realisieren gestattet (Bild 1.3). So machen die technischen Mittel gewissermaßen den „harten Kern“ der Prozesse aus.

1.1.2.2 Relationen zwischen den Prozesselementen

Im technologischen Prozess stehen die Prozesselemente in bestimmten Beziehungen zueinander. Sie sind in Raum und Zeit determiniert. Damit stellt die Menge der Beziehungen der Prozesselemente die räumliche und zeitliche Organisation des technologischen Prozesses, also den Prozessaufbau und den Prozessablauf dar. Für beide Strukturseiten gelten folgende Grundbedingungen, die durch die Strukturgestaltung zu erfüllen sind:

1 Funktionserfüllung
  1.1 Sicherung von Qualität und Menge der Erzeugnisse
  1.2 Realisierung der erforderlichen Funktionsfolge

2 Rationalität des Prozesses
  2.1 Hohe Zuverlässigkeit
  2.2 Geringstmöglicher Aufwand bei der Prozessinstallierung und -realisierung

3 Humanität des Prozesses
  3.1 Bestmögliche Arbeitsbedingungen
  3.2 Geringstmögliche Emissionen.

Prozessaufbau und Prozessablauf umfassen die Menge der Anordnungen und Kopplungen von Prozesselementen.

Anordnungen bestimmen die Lage der Prozesselemente in Raum und Zeit.

So wird die räumliche Anordnung durch Zuordnung der Prozesselemente nach der erforderlichen Funktionsfolge und damit verbundenem Materialfluss sowie durch die Aufstellungsmöglichkeiten der technischen Mittel vorgenommen. Die Anordnung im Produktionsraum hängt von den funktionellen und geometrisch-konstruktiven Eigenschaften der technischen Mittel, den Erfordernissen ihrer Montage, Bedienung und Instandhaltung sowie den Eigenschaften des Produktionsraums ab.

Die zeitliche Anordnung der Prozesselemente wird sowohl von der erforderlichen Funktionsfolge als auch von kapazitiven und arbeitsorganisatorischen Einflüssen bestimmt.

Kopplungen sind die Verbindungen der Prozesselemente, die eine Übertragung des Änderungsgegenstands (Stoff, Energie, Information) zwischen diesen gestatten.

Die Gesamtmenge der Kopplungen enthält:

– räumlich-geometrische Kopplungen,
– zeitliche Kopplungen und
– mengenmäßige Kopplungen.

Zur Erfüllung der Kopplungsfunktion ist die Einhaltung von Verträglichkeitsbedingungen erforderlich. Die Ausgangsgrößen der Vorlaufoperation müssen den Eingangsbedingungen der Nachfolgeoperation nach Raum, Zeit und Menge entsprechen, wenn Verträglichkeit erreicht werden soll. Andernfalls sind sie nicht koppelbar; dann sind entweder die zu koppelnden Elemente zu verändern oder weitere Elemente zu schalten.

Als räumliche Kopplung wird hier die räumlich-geometrische Verbindung von Prozesselementen verstanden. Das erfordert die geometrische Verträglichkeit an den Raumpunkten der Übertragung von Änderungsgegenständen. Hierzu werden die Ränder der Prozesselemente, der technischen Mittel, in ihren Raumkoordinaten so in Übereinstimmung gebracht, dass die Übergabe der Änderungsgegenstände vonstatten gehen kann. Bei der räumlichen Kopplung müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

– Sicherung der Änderungsgegenstandsübergabe,
– Gewährleistung der Bewegungsfreiheit mobiler technischer Mittel,
– Bereithaltung des Bewegungsraums für Montage, Instandhaltung und Wartung.

Damit ergeben sich bestimmte Koppelabstände (Bild 1.4).

Bild 1.4:
Räumliche Kopplung von Prozesselementen; Betongemengeverteiler über Palette

Bild 1.5:
Zeitserieller Prozess; Palettenkreislauf

Als zeitliche Kopplung wird die Herstellung der Übereinstimmung von Prozesszeitpunkten unterschiedlicher Prozesselemente verstanden. Dabei müssen hinsichtlich ihrer zeitlichen Charakteristik zwei Prozesskategorien unterschieden werden:

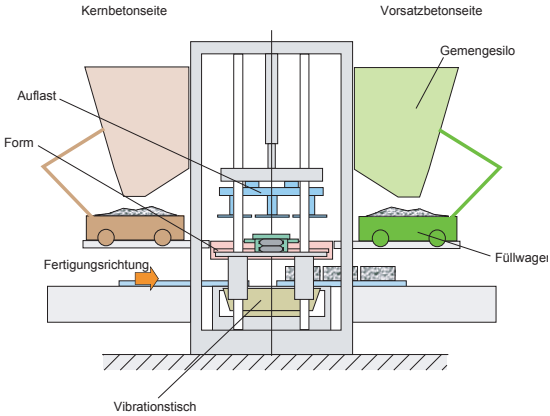
– Zeitserielle Prozesse
– Zeitparallele Prozesse

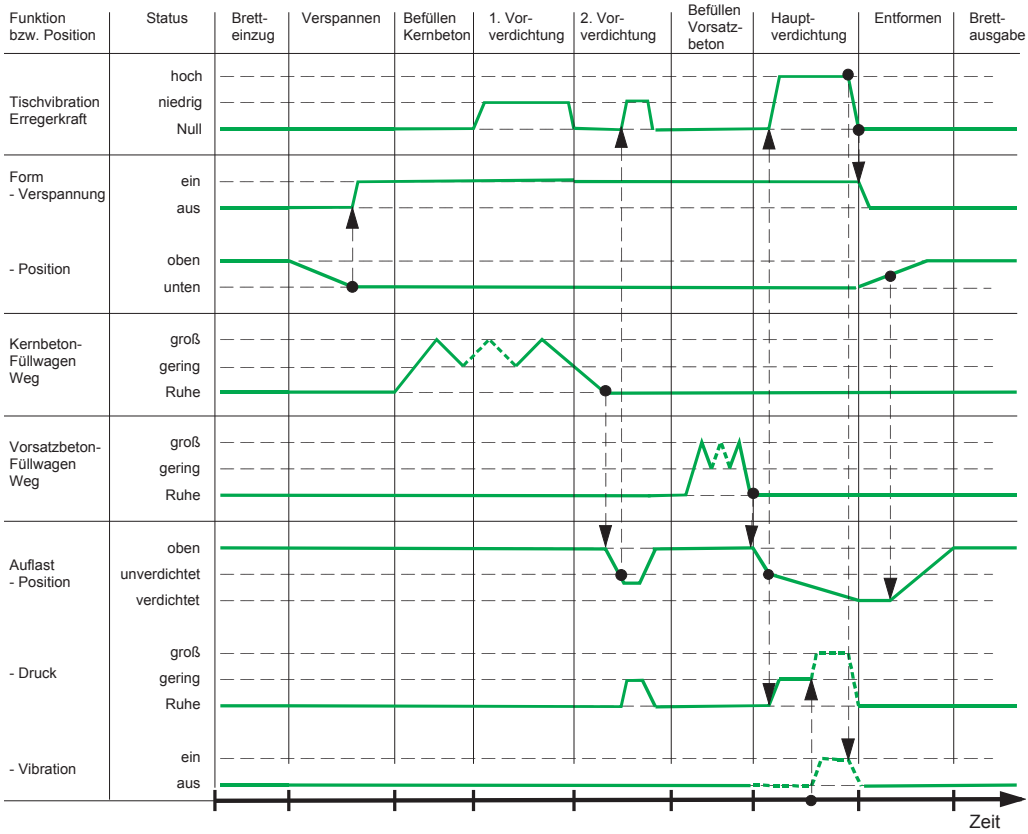
Für zeitserielle Prozesse gilt die Bedingung, dass ein Prozesselement abgeschlossen sein muss, ehe das Folgeelement beginnen kann; der zeitliche Abstand beträgt dann $t_{1,2} \geq 0$ (Bild 1.5).

Bei zeitparallelen Prozessen muss die Bedingung erfüllt sein, dass alle beteiligten Parallelprozesse an den seitlichen Knotenpunkten soweit abgeschlossen sind, dass sie zu einem gemeinsamen Prozess zusammengeführt werden können. Dabei sind die mitbestimmenden Prozesse an den bestimmenden Prozess anzupassen (Bild 1.6).

Für die mengenmäßige Kopplung sind folgende Sachverhalte von Belang:

– Zu Herstellungsprozessen werden meist Prozesselemente zusammengekoppelt, die unterschiedliche Kapazitäten besitzen, also unterschiedlichen Mengenstrom ergeben.
– Hinsichtlich ihrer Kapazität sind die technischen Mittel eines Typs vorwiegend diskret gestuft.
– Die erforderlichen Mengenströme können durch ein Prozesselement großer Kapazität oder mehrerer Prozesselemente kleinerer Kapazität realisiert werden.
– In einem Herstellungsprozess können Prozesselemente verschiedener Flussformen, also kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Fluss, zu koppeln sein.





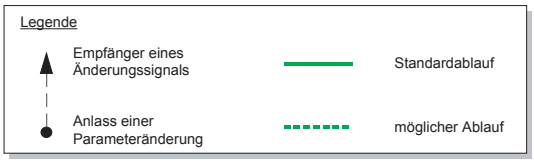


Bild 1.6:
Zeitparallele Prozesse; Steinformmaschine und Teilprozesse

Als Verträglichkeitsbedingung für die mengenmäßige Kopplung zweier aufeinander folgender Prozesselemente gilt:

$$\dot{M}_1 = \dot{M}_2 \tag{1.1}$$

$\dot{M}$ Mengenstrom

$$\dot{M} = \frac{dM}{dt} \tag{1.2}$$

Bei Divergenz ($\dot{M}_1 > \dot{M}_2$) oder Konvergenz ($\dot{M}_1 < \dot{M}_2$) der Mengenstromlinien sind technische oder organisatorische Abstimmungen erforderlich.

Für die technische Abstimmung sind folgende Wege möglich:

– Veränderung kapazitätsbestimmender Kennwerte bei den zu koppelnden Prozesselementen durch Änderung der Materialmenge bzw. der Fertigungs- oder Fördergeschwindigkeit,
– Schaltung zusätzlicher Elemente durch Zwischen- oder Parallelschaltung. Als Prozesselemente für die Zwischenschaltung kommen vor allem Speicherelemente als Ausgleichsspeicher infrage, die eine bestimmte Menge von Änderungsgegenständen über einen bestimmten Zeitraum fixieren (Bild 1.7).

Parallelschaltung ist dann erforderlich, wenn Prozesselemente unterschiedlicher Mengenstromabstufungen existieren. Dann wird ein Element mit größerem Mengenstrom mit mehreren Elementen kleineren Mengenstroms so gekoppelt, dass eine Abstimmung erreicht wird.

Bild 1.7:
Zwischenschalten von Speicherelementen, Unterlagsplattenlager

1.1.2.3 Prozessaufbau und -ablauf

Der Prozessaufbau bestimmt die räumliche Struktur.

Als Raumstruktur wird die räumliche Anordnung und Kopplung der Prozesselemente verstanden. Sie stellt die räumliche Organisation des technologischen Prozesses dar und damit auch der Anlage als Gesamtheit der technischen Mittel [1.1]. Ihre Konfiguration ist entsprechend folgender räumlicher Organisationsformen variierbar:

– Anordnungsgrundformen
– Bewegungsformen

a) Anordnungsgrundformen
Anordnungsgrundformen unterscheiden sich nach der Orientierung der räumlichen Anordnung auf Verfahren oder Erzeugnisse.

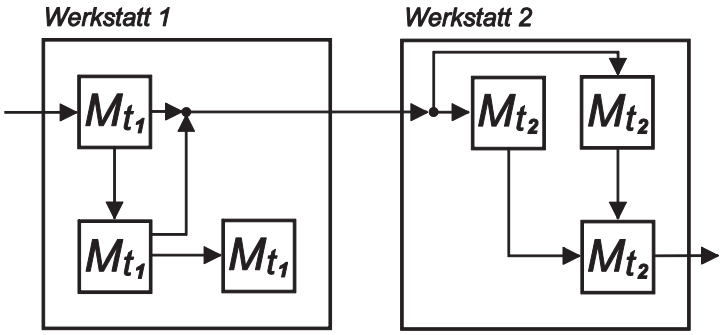


Bild 1.8:
Verfahrensorientierung

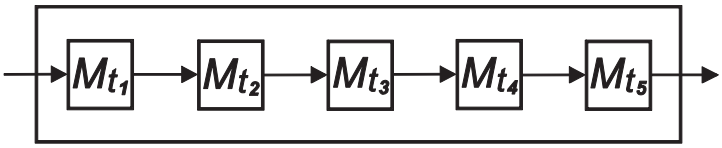


Bild 1.9:
Erzeugnisorientierung

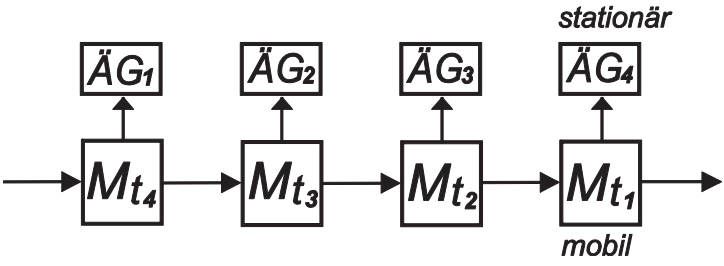


Bild 1.10:
Standfertigung

Verfahrensorientierte Anordnung (Verfahrensprinzip):
Technische Mittel, die gleiche Verfahren realisieren, sind räumlich zusammenhängend angeordnet und bearbeiten unterschiedliche Typen von Änderungsgegenständen (Bild 1.8).

Erzeugnisorientierte Anordnung (Erzeugnisprinzip):
Technische Mittel, die unterschiedliche Verfahren realisieren, sind entsprechend der erforderlichen Bearbeitungsfolge für einen bestimmten Typ von Änderungsgegenständen räumlich zusammenhängend angeordnet (Bild 1.9).

b) Bewegungsformen
Bewegungsformen unterscheiden sich nach dem Bewegungszustand zwischen Änderungsgegenständen und technischen Mitteln:

Standfertigung
Die Änderungsgegenstände ÄG verbleiben während der bestimmenden Grundoperationen an ein und demselben Fertigungsplatz. Die technischen Mittel M_t sind mobil. Sie werden an den Änderungsgegenstand herangeführt, wirken auf ihn ein und wandern von einem Fertigungsplatz zum anderen (Bild 1.10).

Das Prinzip der Standfertigung wird durch verschiedene Systemlösungen verwirklicht, von denen folgende insbesondere für die Herstellung von Wandbau- und Skelettbauelementen infrage kommen:

– Einzelformensysteme
– Batterieformensysteme
– Bahnenformensysteme
– Strangformensysteme
– Spannbahnsysteme

Bild 1.11:
Batterieform

Bild 1.11 zeigt beispielsweise eine Batterieform.

Umlauffertigung
Die Änderungsgegenstände ÄG wandern von einem Fertigungsplatz zum nächsten. Die technischen Mittel M_t sind stationär (Bild 1.12).

An den Stationen (Fertigungsplätzen) werden jeweils einer oder mehrere Arbeitsgänge durchgeführt, sodass die Arbeitsgänge zeitlich parallel laufen [1.2]. Als typisches Beispiel ist im Bild 1.13 das Prinzip der Umlauffertigung in Form einer Palettenumlaufanlage dargestellt. Auch Steinfertigeranlagen zur Herstellung von Betonwaren gehören zu diesem Fertigungsprinzip.

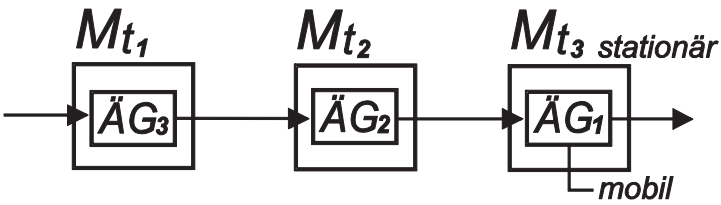


Bild 1.12:
Umlauffertigung

Bild 1.13:
Palettenumlaufanlage

1.1.3 Prozesse der industriellen Herstellung von Betonerzeugnissen

Betonerzeugnisse sind Gebrauchsgegenstände aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton [1.3].

Die Entstehungsstufen des Betons sind:
Betongemenge → Frischbeton → Festbeton.