



**Prof. Dr.-Ing. H.-J. Bargstädt, M.Sc.**

**Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Professur Baubetrieb und Bauverfahren**



## Montagestrategien und die Logik der Bauprozesse

- Montagestrategien – warum?
- Freiheitsgrade zur Beschreibung von Strategien
- Beispiele geometrischer Beschreibung
- Down to earth – zur Simulation von Fassadenarbeiten



## Hemmisse bei der ganzheitlichen Betrachtung von Bauprozessen

Tradierte **Gewerkestruktur** von der Zuordnung in der Handwerksrolle bis zu Standard-Ausschreibungen

Vermeintliche Perfektionierung der vorhandenen (z.B. VOB-orientierten) **Vertragssysteme** und Regelungsmechanismen (Nachtragsmanagement)

Trennung von **Verantwortlichkeiten** (in der Kette vom Investor bis zum Lieferanten)

Umfassendes, aber **parzelliertes Erfahrungswissen** bei den Akteuren auf allen Hierarchiestufen

Unzureichende **Aggregierung** von Bauprojektinformationen

## Optimierung von Bauprozessen

Gewerkestruktur  
Vertragssysteme  
Trennung von Verantwortung  
Erfahrungswissen  
Aggregierung

Wie lautet die **Zielfunktion** für die Optimierung?

Hat die Zielfunktion (zeit-)**konstante** Parameter?

Ist die Zielfunktion selbst zeitkonstant?

Gibt es überhaupt **eine** Zielfunktion?

## Veränderungen der Wertigkeit von Preis/Qualität/Terminen in den Augen mancher Bauherren

Wertigkeit Projektphase	wichtig	weniger wichtig	relativ unwichtig
Planung + Vergabe	<b>Preis</b>	<b>Termin</b>	Qualität
Bauausführung	<b>Termin</b>	<b>Qualität</b>	Preis
Abnahme + Nutzung	<b>Qualität</b>	<b>Preis</b>	Termin

## Sicht- und Vorgehensweise

### Bottom-up:

Dynamische Bau-daten  
(Standard-LV's)

Berechnung von  
Einzelabläufen

Strategie von  
Montageprozessen

Logik der Bauprozesse

### Top-down:

Case Based Reasoning  
(CBR)

Analytical hierarchy  
process (AHP)

Neuronale Netze



Baustelle  
Skyper  
Frankfurt



Baustelle  
Weimar  
Atrium

## Unterschiedliche Perspektiven auf den Bauprozess

Perspektive des **Investors** – Finanzströme, Terminsicherheit, Robustheit der Prozesse

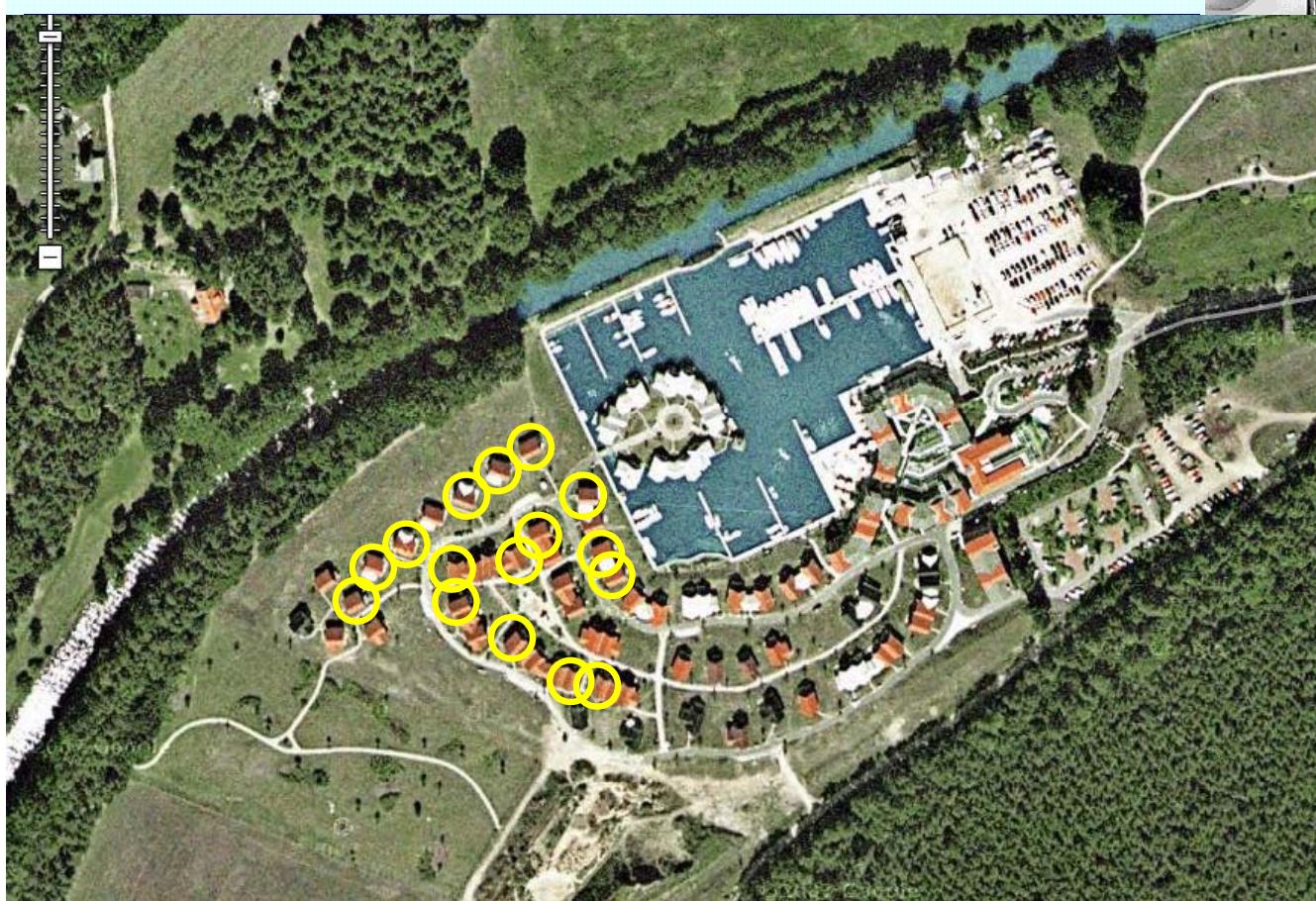
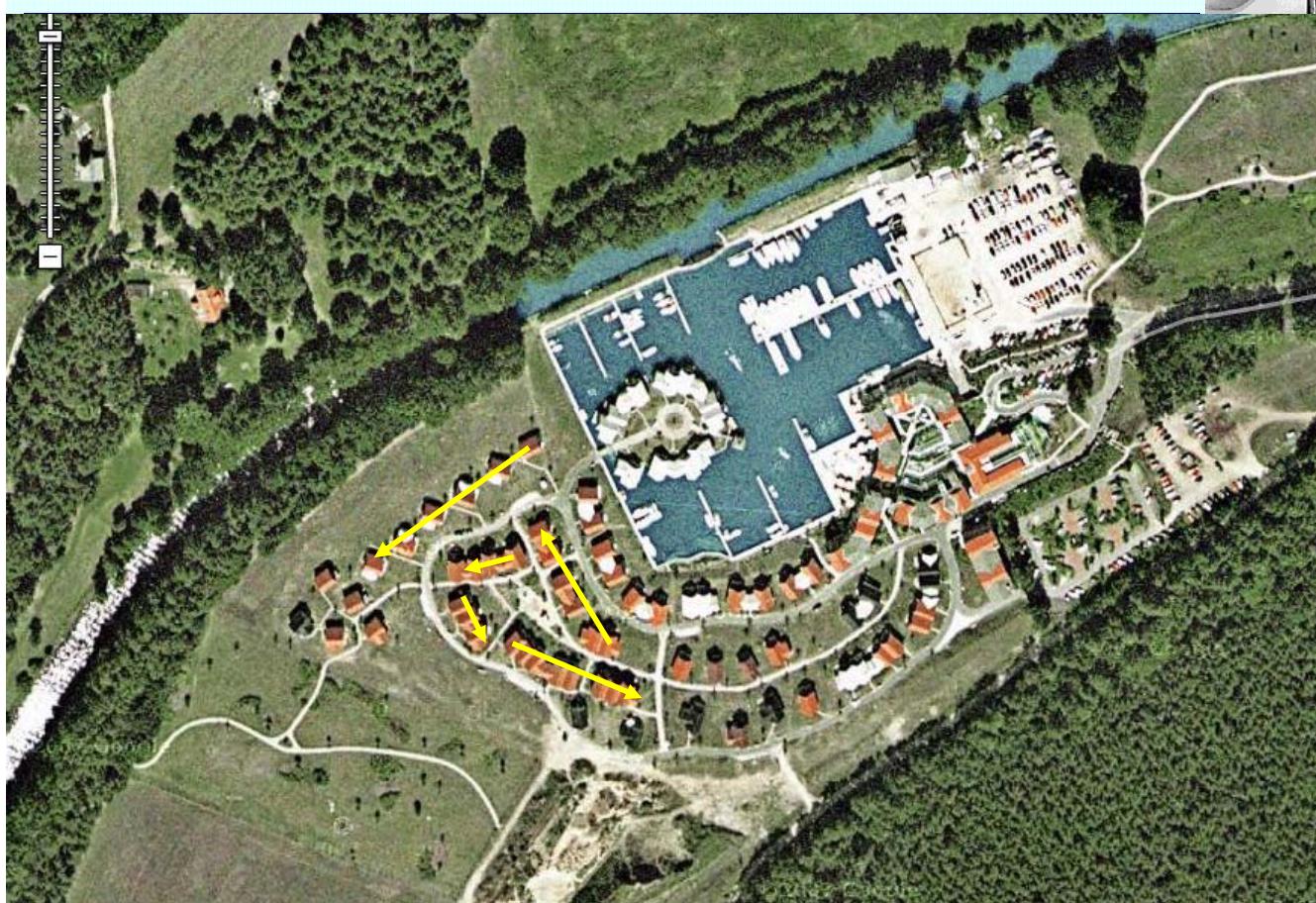
Perspektive des **Projektsteuerers** – Kontrollierbarkeit der Vorgänge; Sichtbarkeit der Indikatoren für Fortschritt, Qualität, Kosten

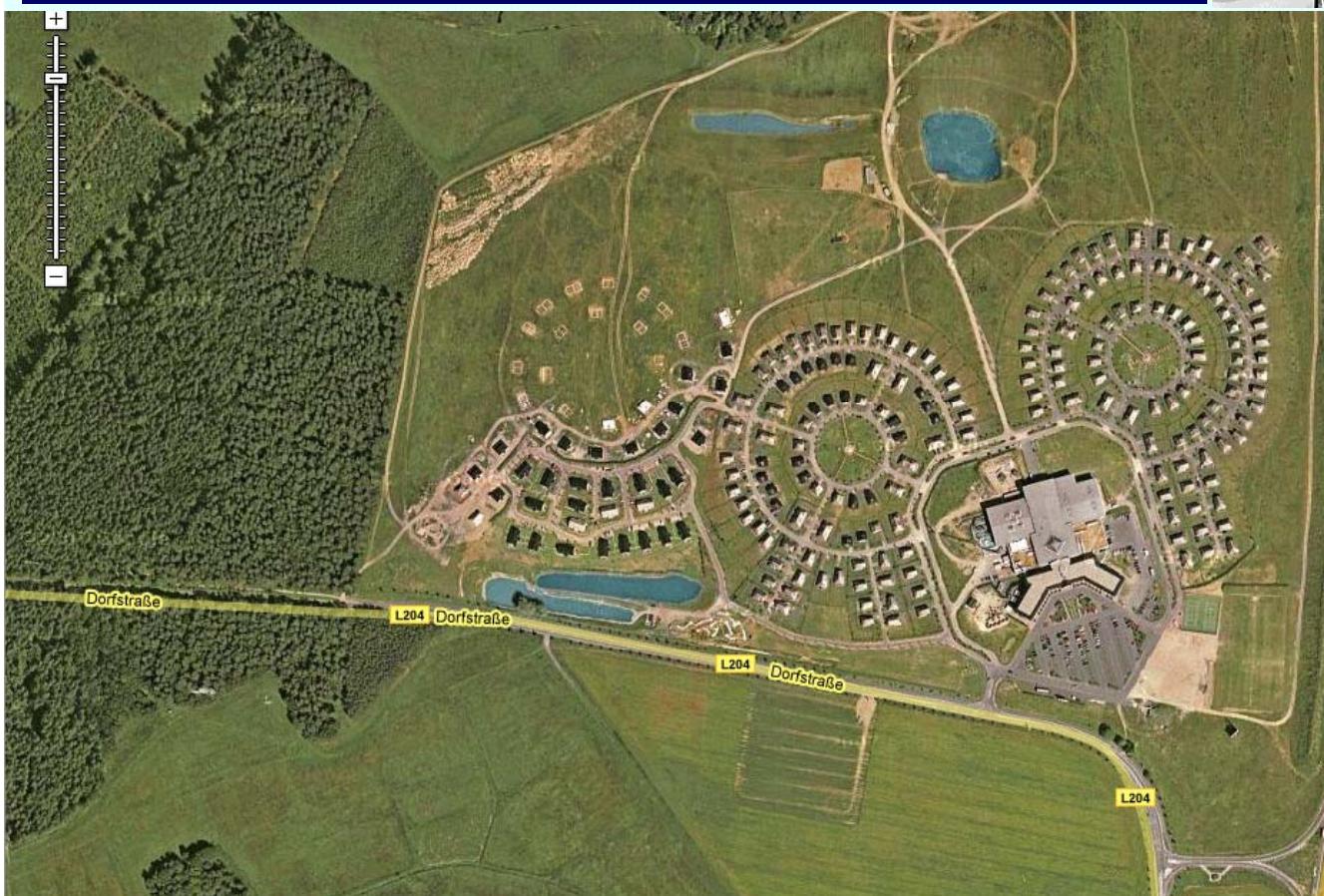
Perspektive des **Nutzers** – eigene Flexibilität bis zum Nutzungsbeginn, Terminsicherheit, Qualität, Kosten

Perspektive des **Generalunternehmers** – Technische Koordinierung und finanzielle Kontrolle; Fokus auf ausgewählte Detailprozesse

Perspektive des **Einzelunternehmers** – Verlässlichkeit der Rahmenbedingungen; technische Vorbereitung und Kontrollierbarkeit der eigenen Arbeiten

Perspektive des **Bauleiters** – Flexibilität der eigenen Disposition bei externen und internen Veränderungen







## Montagestrategie

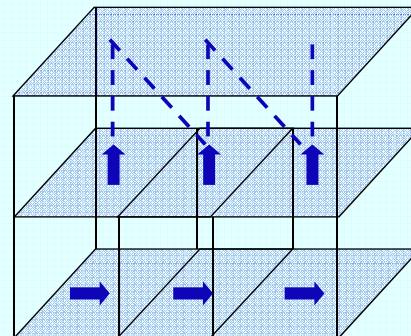
### Montagestrategie:

- vordefinierte oder etablierte Anordnung der Arbeiten
- Verwendung, um Ablaufalternativen zu untersuchen und eine geeignete Lösung für die projektspezifischen Umgebungsbedingungen zu finden
- Eingrenzung der Suche durch Überprüfung mehrerer Montagestrategien
- Finden einer günstigen Ablauffolge – Parameterveränderung
- Z. B. Fertigungsrichtung, innerhalb
  - des Gesamtbauwerk
  - eines Fertigungsabschnittes (Feuerzone, Geschoss)



## Fertigungsrichtung abhängig von

- Typ, Geometrie, Struktur des Gebäudes
- Reihenfolge der Fertigstellung von Bauabschnitten
- zur Verfügung stehender Bauzeit
- Reihenfolgebeziehungen zwischen Arbeiten unterschiedlicher Fertigungsabschnitte



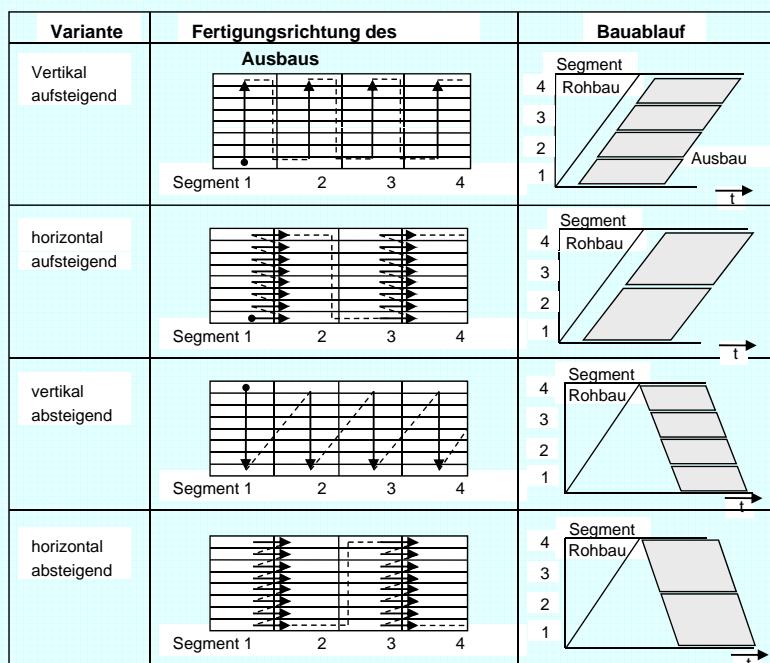
## Globale Montagestrategien

- Eingeschossige Gebäude – bei zeitlicher Überschneidung von Roh- und Ausbau folgt der Ausbau zwangsläufig dem Rohbau
- Mehrgeschossige Gebäude – grundsätzlich auf- und absteigende Bewegung möglich; absteigende ist vorteilhaft (Verschmutzungen)
- Hochhäuser (= Punktbaustelle) – Ausbau in aufsteigender oder absteigender Richtung möglich (Bauzeitenrahmen beachten);
- Verkehrsflächen in Hochhäusern (Flure, Treppenhäuser) werden dann vorteilhaft „sich zurückziehend“, also absteigend ausgebaut
- Linienbaustellen prinzipiell „entlang der Linie“ zu konzipieren, aber auch von mehreren und sogar von beliebig vielen „Angriffspunkten“ denkbar

## Abhängigkeiten im Ausbau und mögliche Priorisierung

Abhängigkeit	Prinzip	Beispiele
Zwingend?	„innen vor außen“	Tragende Wandteile vor Putzarbeiten; Kernbohrungen in Stahlbetondecken (?)
Zweckmäßig:	„schmutzig vor sauber“	Wandfliesen vor PVC-Belag; Farbanstriche vor Belagsarbeiten
Zweckmäßig:	„nass vor trocken“	Estricharbeiten vor Trockenbauwänden; Gipsputz vor Einbau Holzfenster (?)
Zweckmäßig:	„Abbruch vor Aufbau“	Entkernungsarbeiten vor neuen Innenwänden; Nutzung alter Aufzug während Bauzeit (?)
Zweckmäßig:	„grob vor fein“	Erst Fliesenflächen, dann Ränder anarbeiten
Zweckmäßig:	„kompliziert vor einfach“	Maurerecken, dann die Füllarbeiten; Verlegen von Bewehrung (?)
Zweckmäßig:	„gerade vor gebogen“	Verfügbarkeit der Spezialisten, z.B. im Trockenbau; Beschäftigungsdruck für Mannschaft
Zweckmäßig:	„oben vor unten“	Montage abgeh. Decken vor Teppichbelägen; Rohrleitungen vor Traggerüst der Verkleidung

## Montagestrategie Gesamtbauwerk



## Weitere mögliche Priorisierungen

Abhängigkeit	Prinzip	Anmerkungen
geometrisch sortiert	nach x-, y-, r-, φ- oder z-Koordinate	Leicht ansprechbar und oft im Hintergrund als Vorgabewert ansetzbar, falls nichts anderes gewählt wird
nach physikalischen Parametern sortiert	nach Masse oder Wichte; nach Farbhelligkeit o. ä. nach Oberflächenstruktur	Vergleichsweise einfach abzufragen
folgebezogen:	First-in-first-out; Last-in-first-out	Reihenfolgeprinzipien aus der Logistik (Warenströme) nutzend
zeitbezogen:	getaktete Tätigkeiten vor übrigen (Füll-)Arbeiten	Zyklogrammtechnik nutzen; Kritischen Weg beachten
werkstoff-bezogen	„Serie vor Einzelstück“	
	„warm vor kalt“	
zeitplan-orientiert	„lange vor kurzer Dauer“	
	„datumsbezogen“	Feiertage, Wochenendpausen, Naturschutz (Brutzeiten)



## Weitere mögliche Priorisierungen

Abhängigkeit	Prinzip	Anmerkungen
Abhängigkeit reduzieren	Variabilität schaffen	Viele Arbeiter schaffen an möglichst vielen Stellen die Vorarbeiten für Nachfolgetätigkeiten
Stringenz erhöhen	Zwangsergebnisse schaffen	Spezialisierung der Handwerker herausbilden, Schaffung von Spezialkolonnen für Einschalen (getrennt nach Stützen, Wände, Decke), Ausschalen
aleatorisch	„gelegenheitsorientiert“	Witterung, Verkehrsaufkommen, Zufälle, „wo morgens schon die Sonne scheint“

## Montagestrategien innerhalb eines Fertigungsabschnittes

- Für in sich abgeschlossene Teilleistungspakete ist das Erfassen der zugrunde liegenden Entscheidungsabläufe voraussichtlich einfacher zu erreichen.
- Bei größeren und komplexeren Leistungspaketen kann die Struktur der Machtverhältnisse zwischen den am Bau Beteiligten nicht vernachlässigt werden.
- Nicht alle Entscheidungen sind logisch, geschweige denn zwingend. Daher müssen auch lediglich formale, also „oberflächliche“ Entscheidungskriterien herangezogen werden.
- Die bestehenden Alternativen innerhalb eines hierarchischen Entwicklungsprozesses – und die daraufhin gefällten Entscheidungen – sollten (zunächst noch) transparent gezeigt werden

## Nachbarschaftsbauwerke

### Nachbarschaftsbauwerke

- Ausgehend von einem Startpunkt werden immer die nächstgelegenen Wände gefertigt
- Vorteil:
  - Personal hat immer die kürzesten Wege zum nächsten Einsatzort
  - Verbrauch der Restmaterialien an nächstgelegener Wand
  - keine erneute Zwischenlagerung bzw. Umlagerung
- Startpunkt, Arbeitsrichtung, Abstand der Elemente (Einbaupositionen)

## Mögliche Arbeitsrichtungen

### Arbeitsrichtung [R.K. Goyal, 2000]

- Ausführung über (Himmels-)Richtungsangaben beschrieben
  - ⇒ 1. Priorität bei der Ausführungsplanung hat der Fortschritt der Arbeit
    - Progress of work (PW)
    - Start und Richtung wird über Angabe der vier Hauptrichtungen N – S – O – W festgelegt
  - ⇒ 2. Priorität: Richtung der Durchführung der Arbeit
    - Execution of work (EW) - Rechtwinklig zur PW-Richtung
    - EW auf PW erzeugt auch die Nebenrichtungen (NO, NW)
- Beispiel Etage  
(PW) N-S, (EW) O-W: Beginn der Arbeit im NO → nach SW



## Fließfertigung

- **Bauzeit, bei der der Einsatz der Kapazitäten, also der Arbeitskräfte und Arbeitsmittel optimal ist**
- **Prinzipien:**
  - Kontinuität – ununterbrochen
  - Gleichmäßigkeit – AK und AM gleichmäßig genutzt
  - Rhythmus – konstante Dauer in gleich großen Abschnitten
- **Prinzipien stationäre Industrie:**
  - hohe Zahl an Arbeitsstufen
  - große Anzahl von Arbeitern
  - Je Arbeitsstufe kurze Einsatzzeit dieser Arbeiter

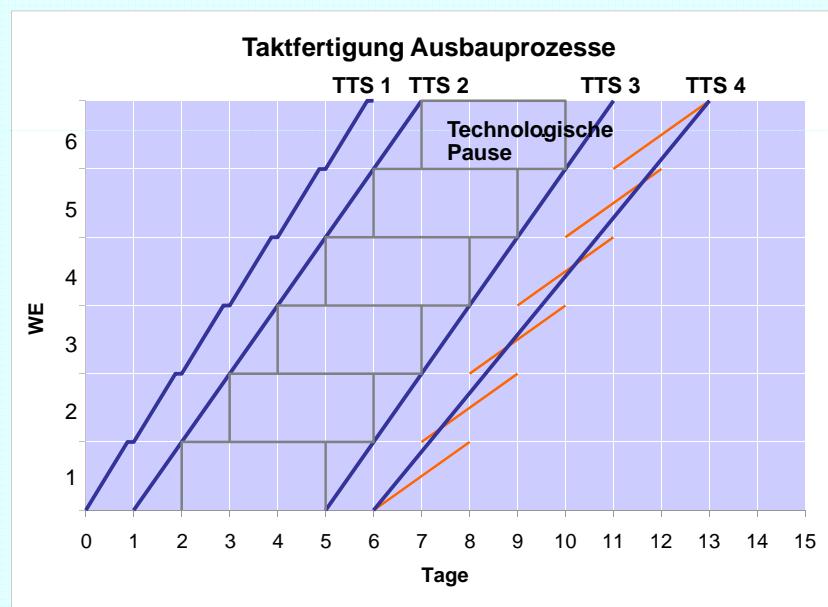


## Globale Montagsstrategien

### Fließfertigung („synchronisiert“)

- Lt. Bauer: Baustellenfertigung nach den Aspekten der gleichen Zeitdauer und der optimalen Auslastung der Arbeitskräfte und -mittel innerhalb der Teiltaktstraße
- **Prinzipien Baustellenfertigung:**
  - gleicher Arbeitsaufwand eines Teilprozesses in den Abschnitten (gleich Dauern und gleichmäßige Auslastung)
  - kritische Annäherung der Teilprozesse berücksichtigen (krit. Annäherung: zwischen zwei benachbarten TTS ist eine weitere Annäherung (zeitl.) ohne Verletzung der Baufreiheits- sowie der Kontinuitätsbedingungen nicht möglich)

## Fließfertigung



## Ausblick auf die Virtuelle Baustelle von heute

Um Bauprozesse digital abbilden zu können, müssen zunächst Fakten und Zusammenhänge über die Prozesse selbst erfasst und aufbereitet werden. Dieses Wissen liegt bisher nur in den Köpfen von erfahrenen Bauleitern, Projektplanern und Polieren vor. Es fließt vielfach eher instinkтив in die Arbeitsvorbereitung ein.

Die dabei zugrunde liegenden Grundideen, Methoden und Entscheidungsalgorithmen sind zu erfassen und für nachfolgende Bauprozesse aufzubereiten, also zugänglich zu machen.

Bauprozesssimulation muss zunächst transparent angelegt sein. D. h. vom System automatisiert getroffene Entscheidungen müssen sollten (noch) sichtbar und somit überprüfbar bleiben, damit ggf. zu stark einengende Parameter nochmals entschärft werden könnten.



## Leistungsbeschreibung für Ausschreibung und Vertragsschluss:

**Eindeutige und erschöpfende Beschreibung der zu erbringenden Bauleistung, so dass alle Anbieter die Beschreibung im gleichen Sinne verstehen müssen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten berechnen können.**

**Dem Auftragnehmer darf kein ungewöhnliches Wagnis aufgebürdet werden für Umstände und Ereignisse, auf die er keinen Einfluss hat und deren Einwirkung auf die Preise und Fristen er nicht im voraus schätzen kann.**



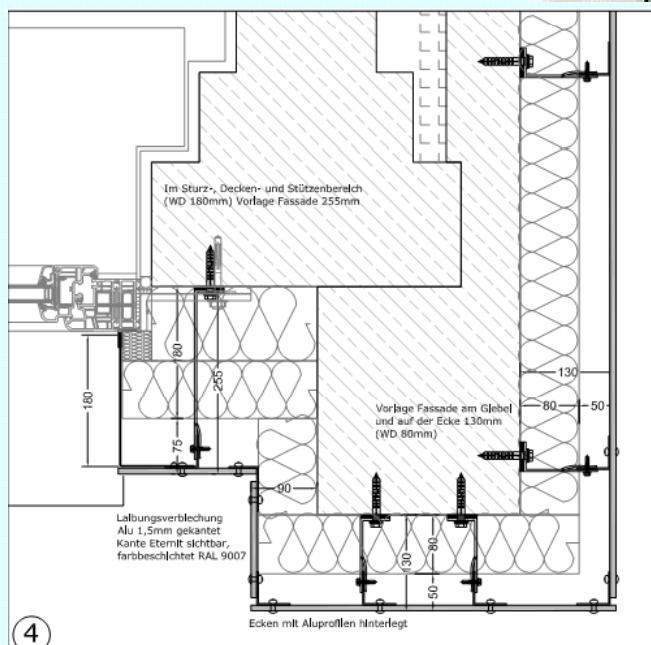
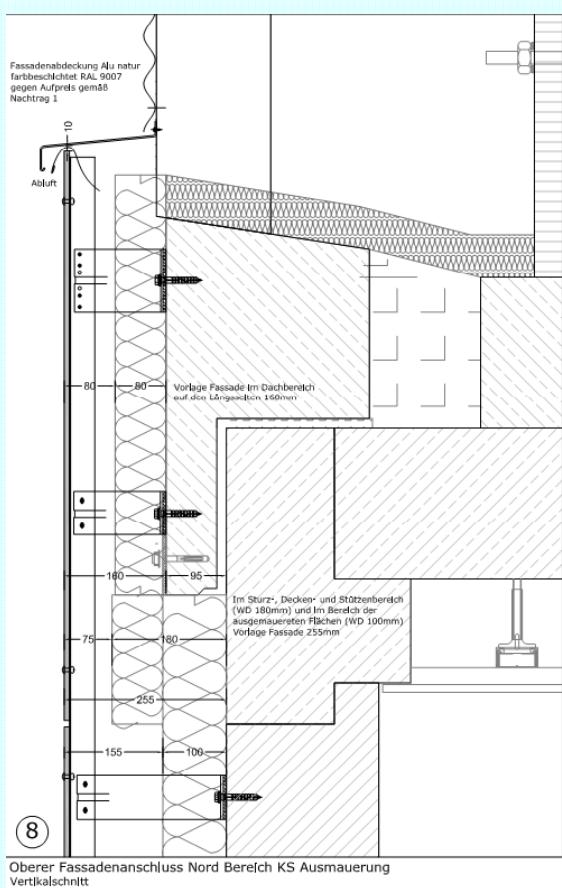
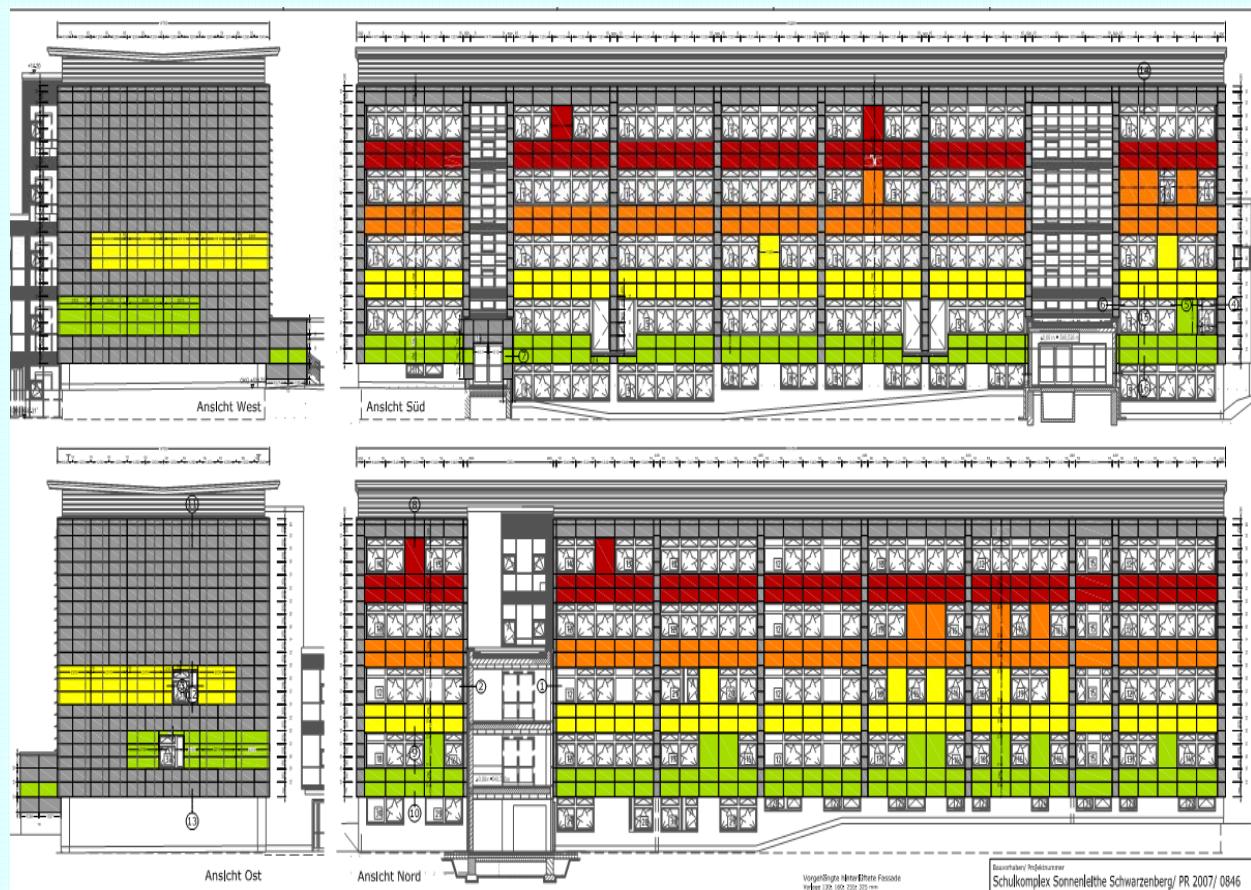
## Construction strategies for building façades

- Introducing the façade system of a sample building
- Construction strategies of wall angle
- Construction strategies of insulation and façade elements



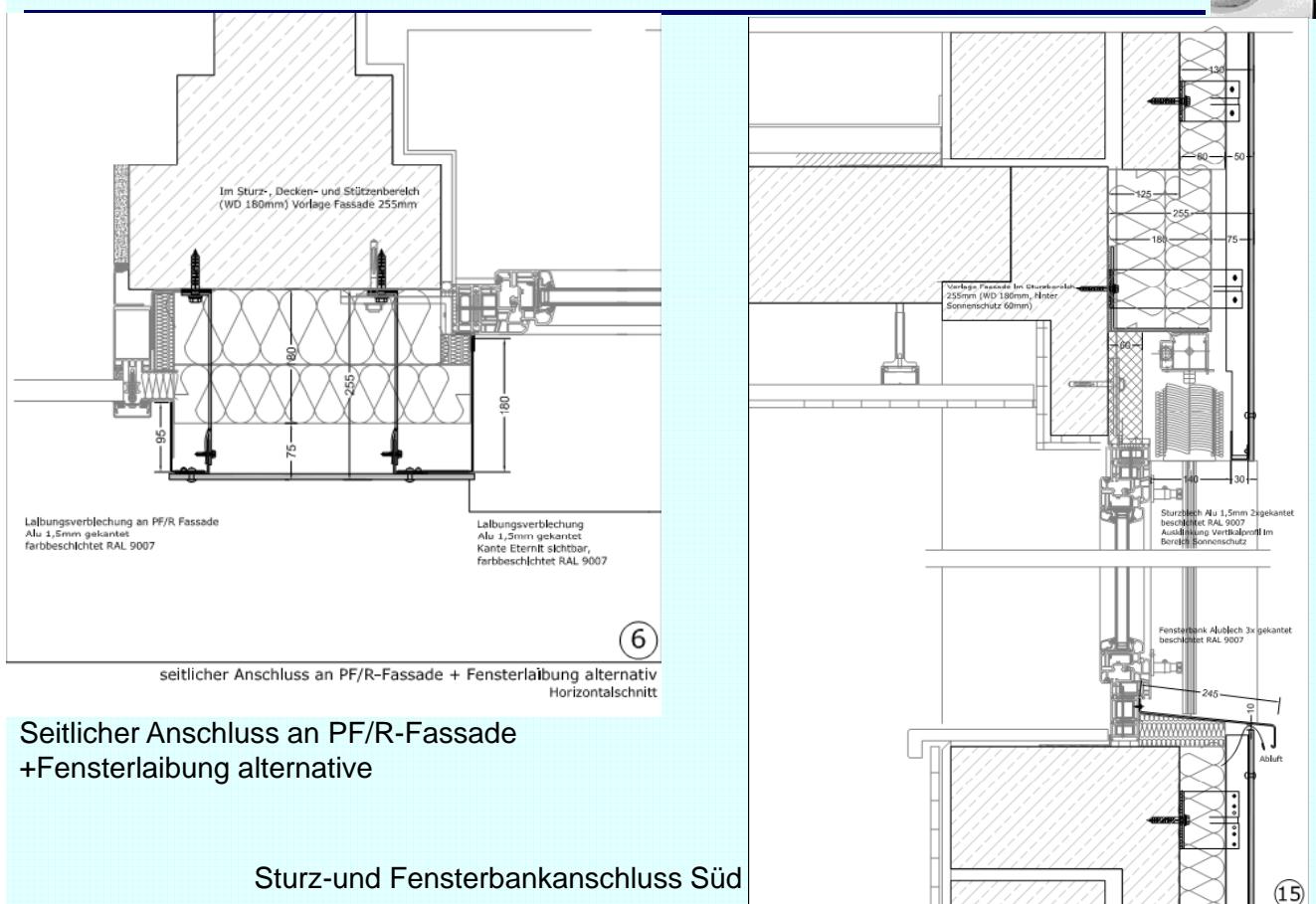
## Example: façade system of a school building

- A five-story school in Schwarzenberg/Erzgebirge with the façade area of approximately 1200.00 m<sup>2</sup>
- The façade system of the building consists of:
  - + Substructure:
    - wall angle,
    - mineral fiber insulation,
    - aluminum profile
  - + Façade element, made of fiber cement



Gebäudeecke + Laibungsanschluss Süd

Oberer Fassadenanschluss Nord  
Bereich KS Ausmauerung



Seitlicher Anschluss an PF/R-Fassade  
+Fensterlaibung alternative

Sturz- und Fensterbankanschluss Süd

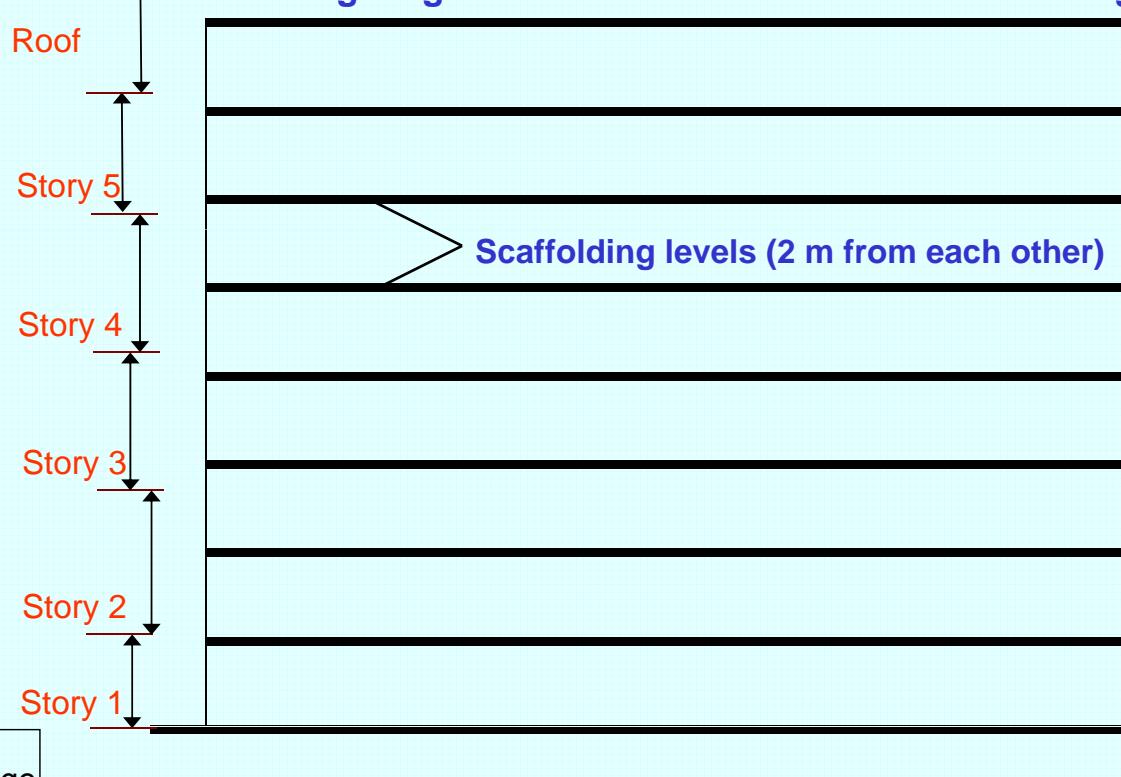




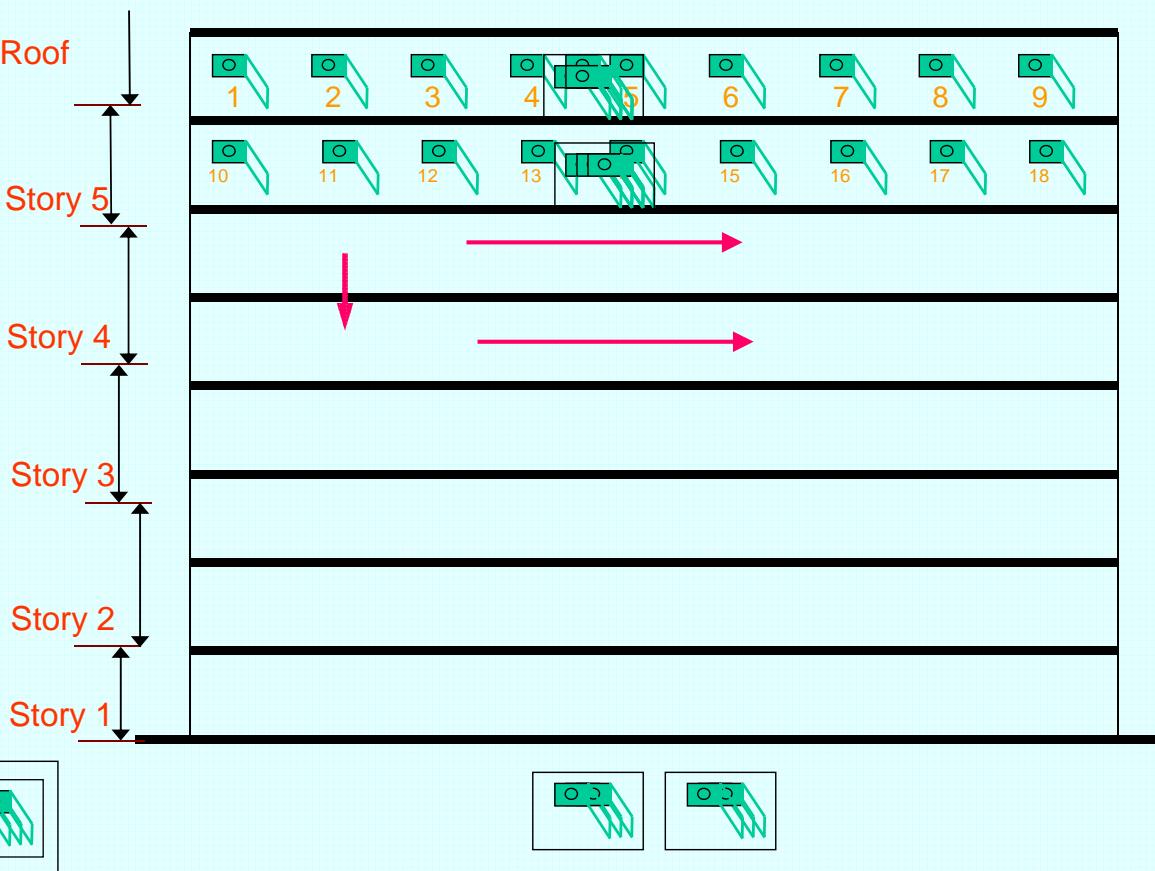
## Construction of wall angles

- Wall angles can be constructed from the bottom to the top of the building or vice versa.
- The angles can be constructed step-by-step or randomly or simultaneously.
- Choosing a construction way depends on the available angles and the number of workers...
- Wall angles can be transferred step-by-step by elevator or crane to each scaffolding story, distributed, constructed, or transferred simultaneously to every story before construction.
- It takes 2 persons to construct a wall angle, and the substeps are measurement, drilling the holes and fixing the angles with bolts

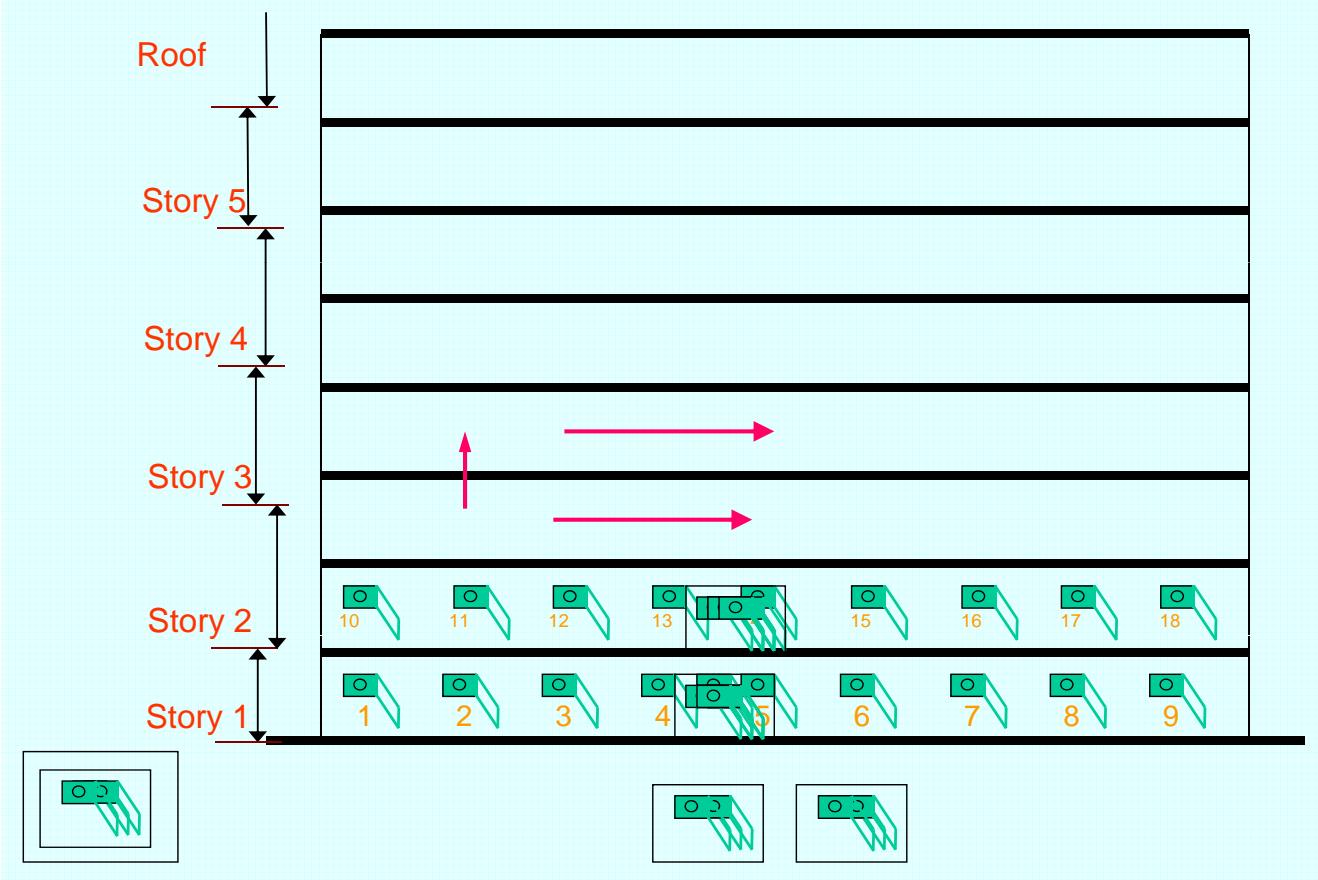
## Scaffolding diagram in relation to stories of the building



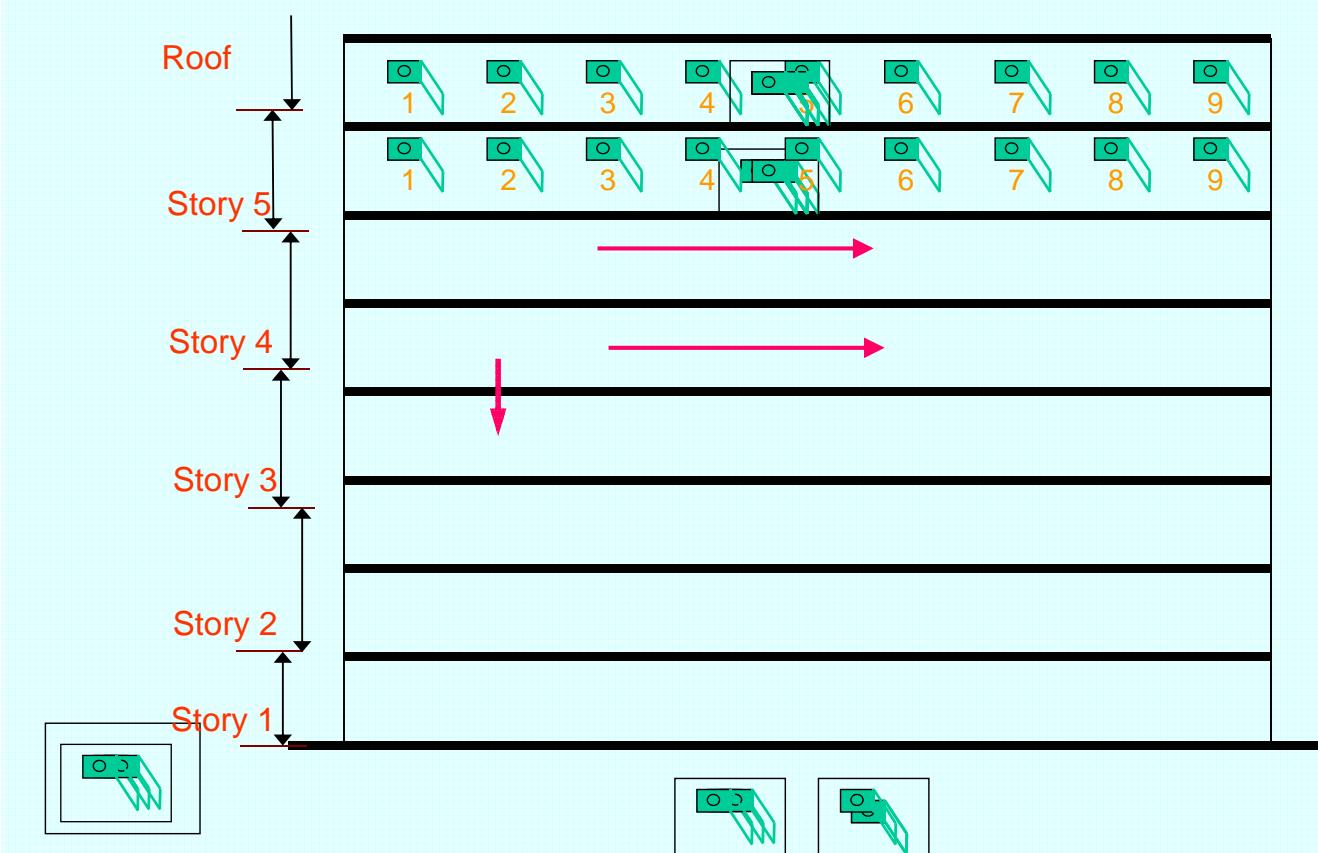
## Construction step-by-step from the top to the bottom – material is transferred step-by-step following the construction



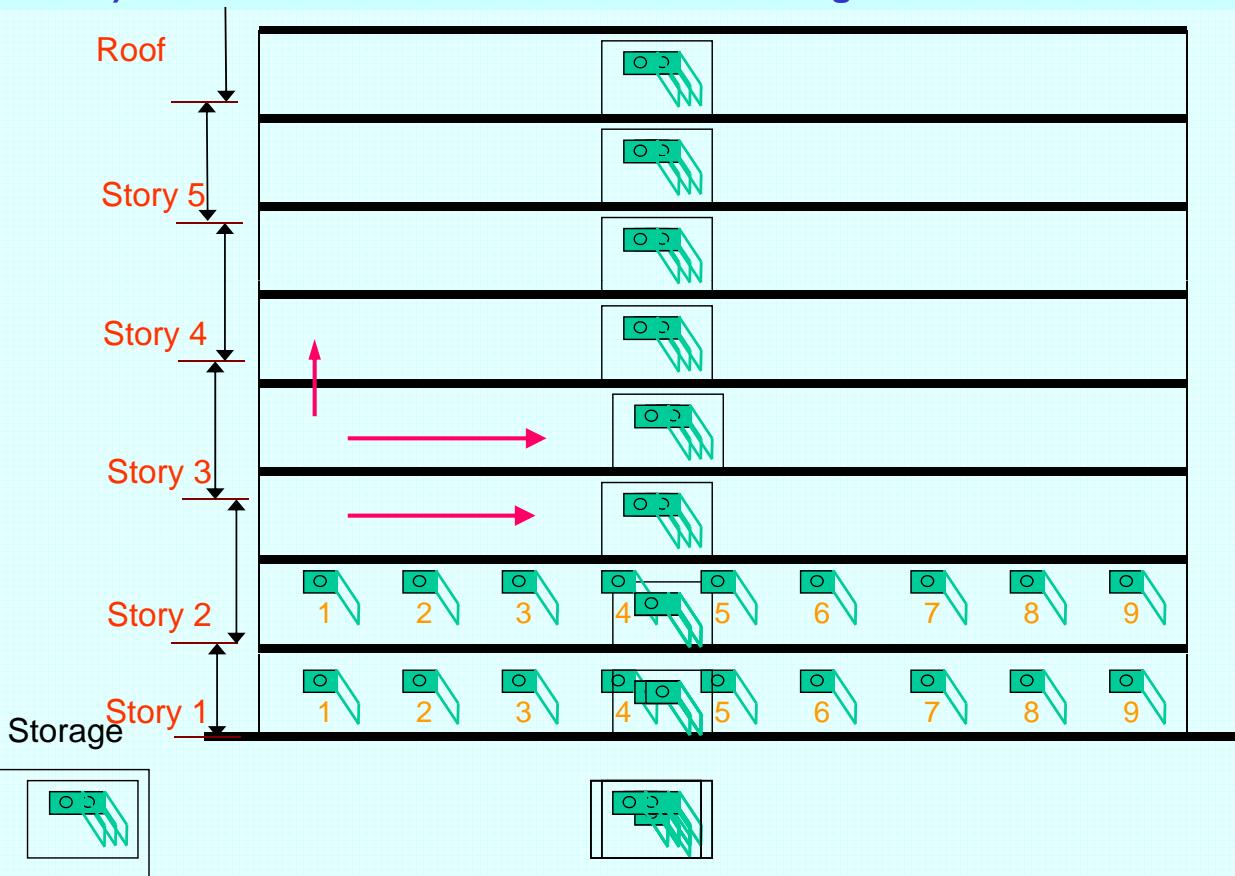
**Construction step-by-step from the bottom to the top – material is transferred step-by-step following the construction**



**2 stories simultaneous construction from the top to the bottom (or vice versa) – material is transferred following the construction**

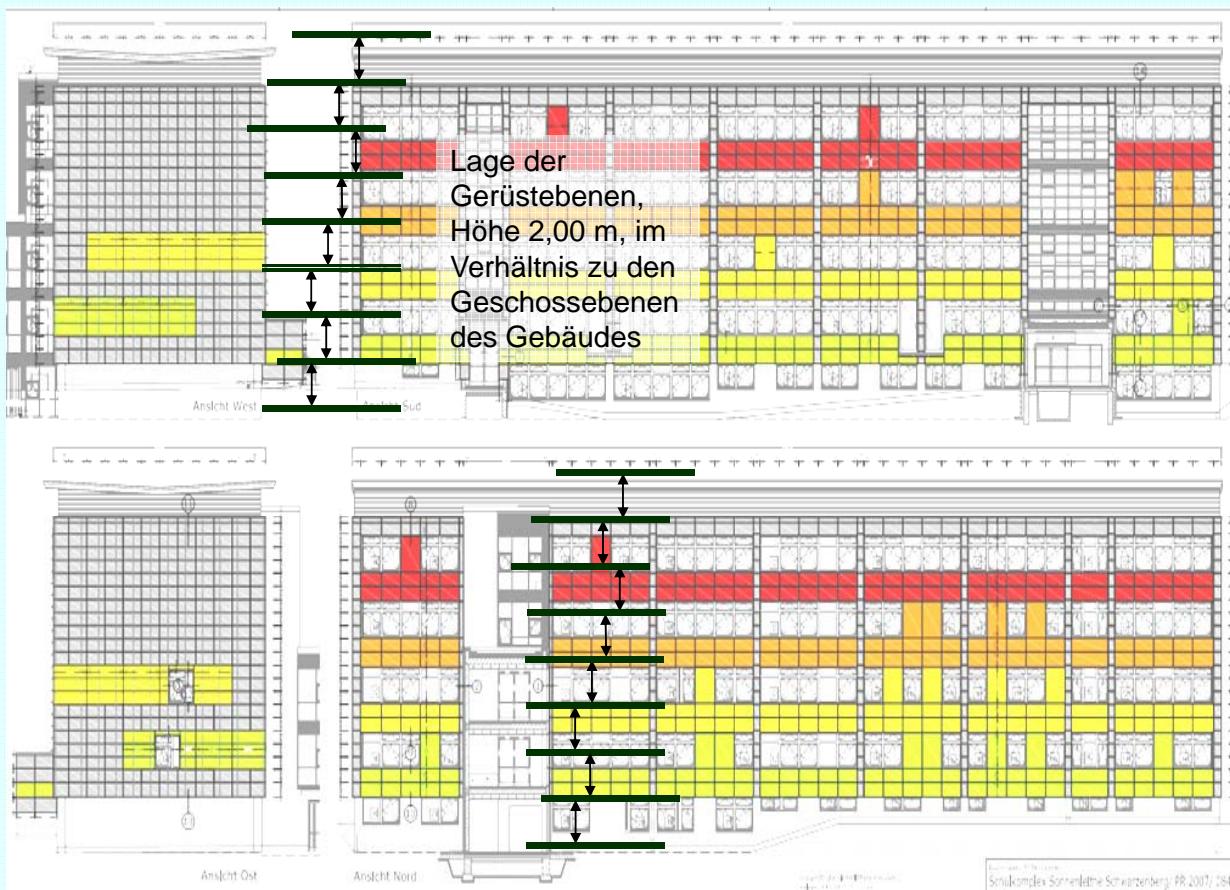


## 2 stories simultaneous construction from the bottom to the top (or vice versa) – material is transferred to all scaffolding before construction

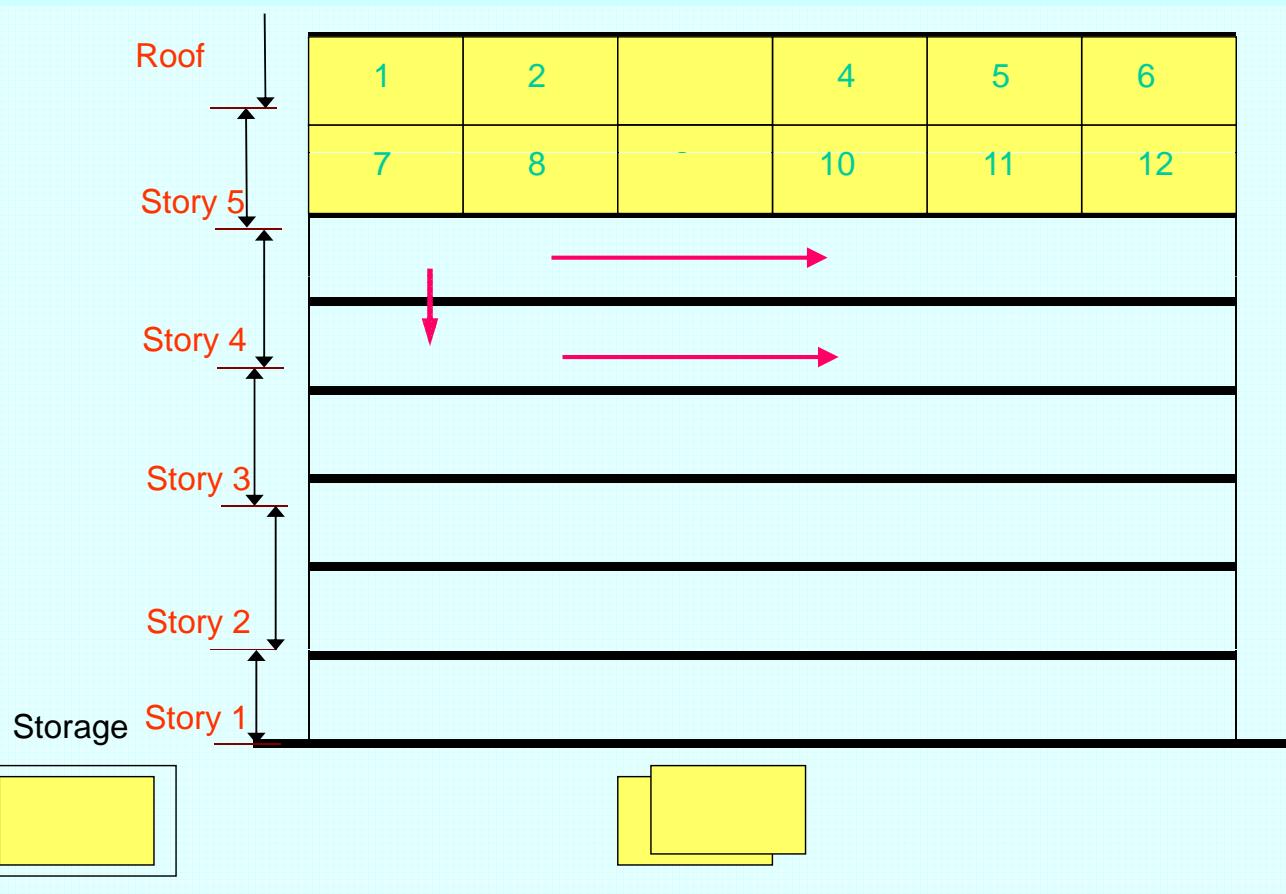


## Construction of insulation and façade elements

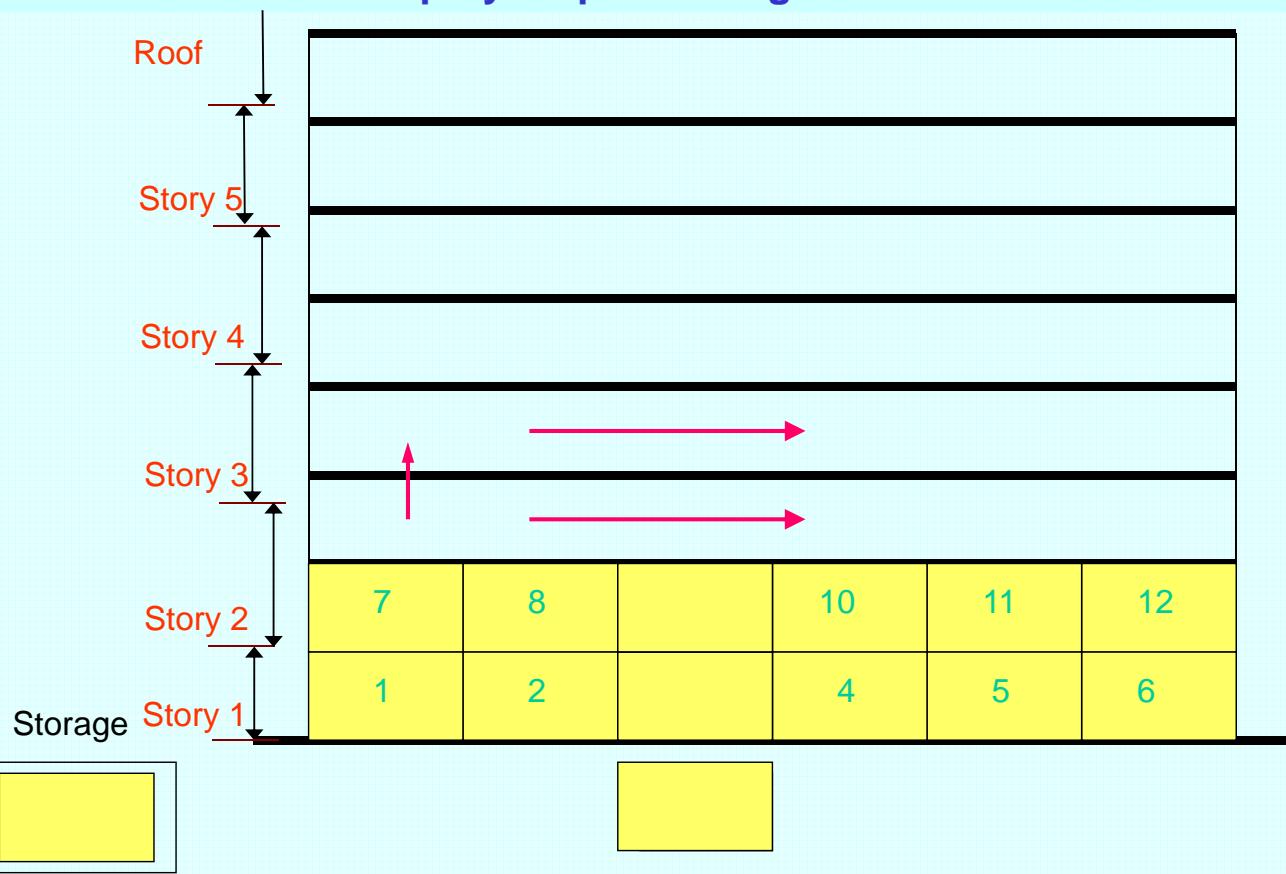
- Insulation and façade elements can be constructed step-by-step from the bottom to the top of the building or vice versa.
- Choosing a construction way depends on the design of the building, available machine, available workers...
- Material can be transferred step-by-step by crane or elevator to each scaffolding story, distributed and constructed, or transferred simultaneously to every story before construction.
- The dimension of **insulation**: **1250 x 600 x 100**  
(insulation is shipped in packs of five elements)
- The dimension of typical **façade elements**: **700x1330; 750x1330; 770x1330**.
- Material consumption:
  - Insulation : approx. 1,33 element / m<sup>2</sup>
  - Façade: approx. 1 element / m<sup>2</sup>
- It takes 2 – 4 workers to mount insulation and ?? to install façade elements



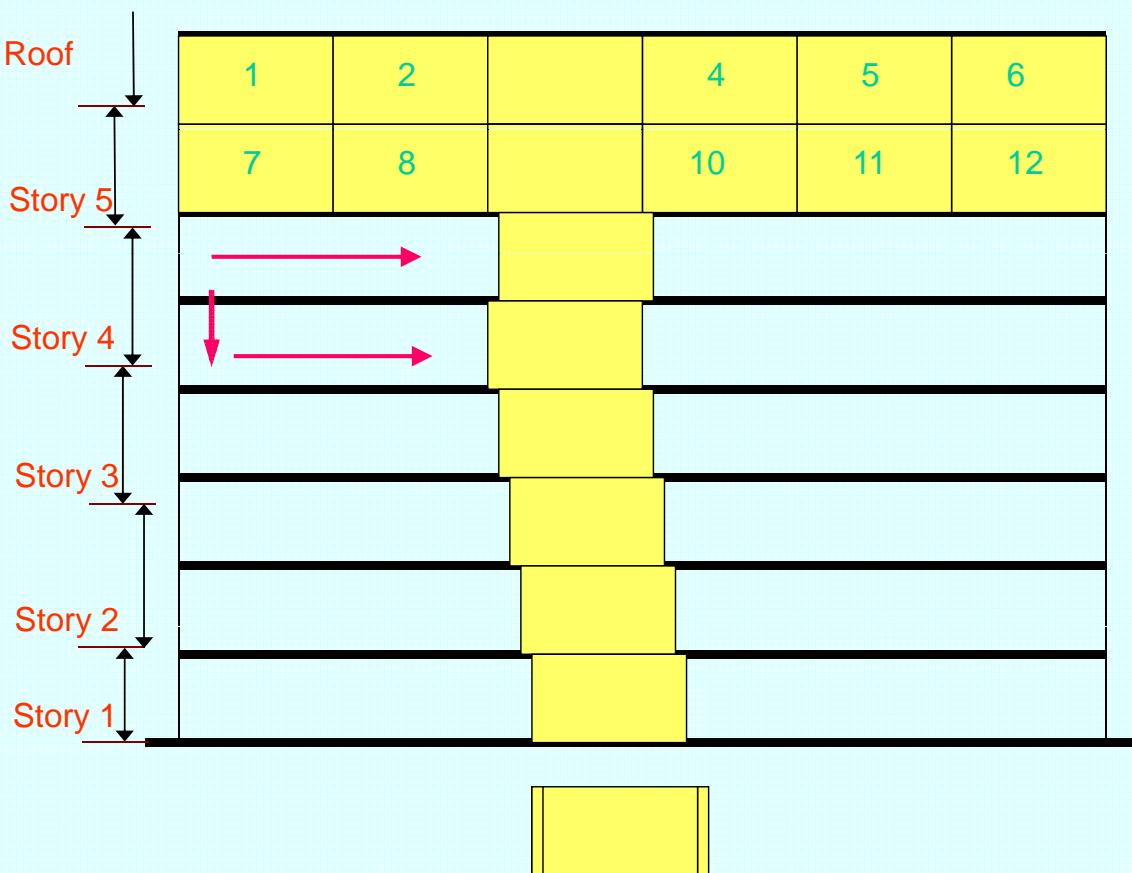
**Construction step-by-step from the top to the bottom – material is transferred step-by-step following the construction**



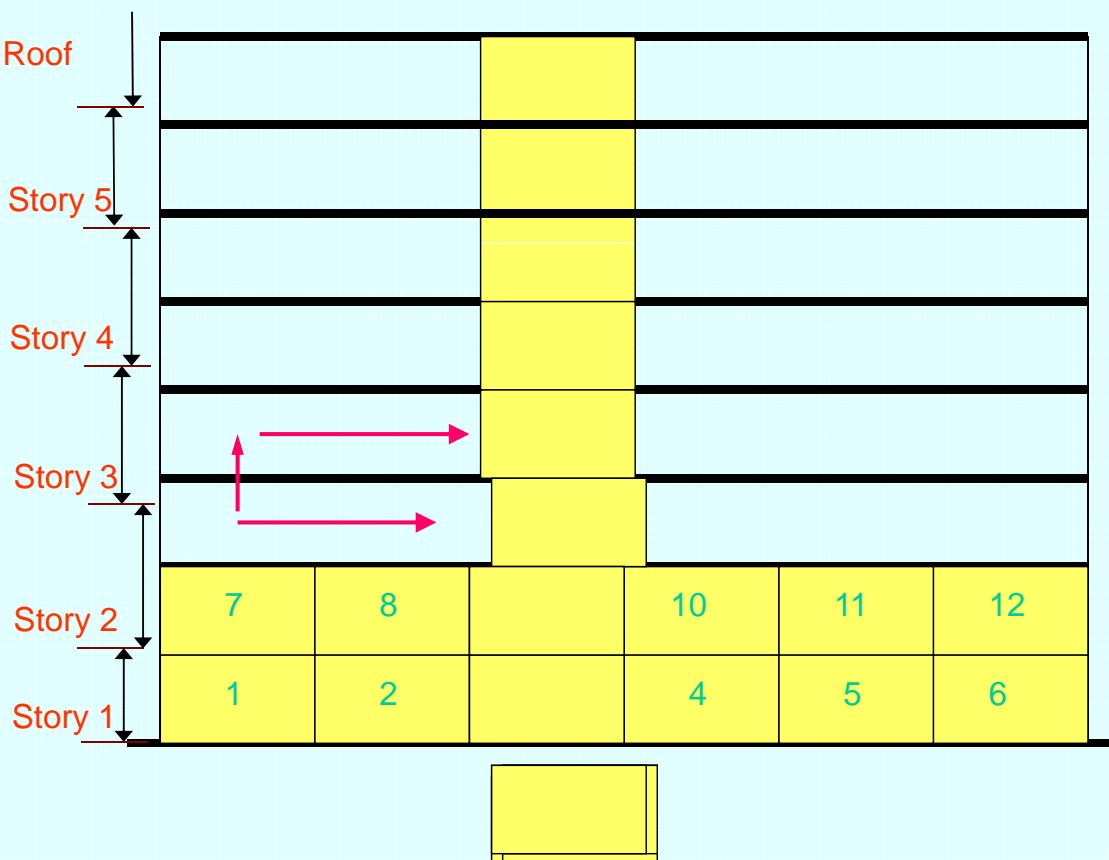
**Construction step-by-step from the bottom to the top – material is transferred step-by-step following the construction**



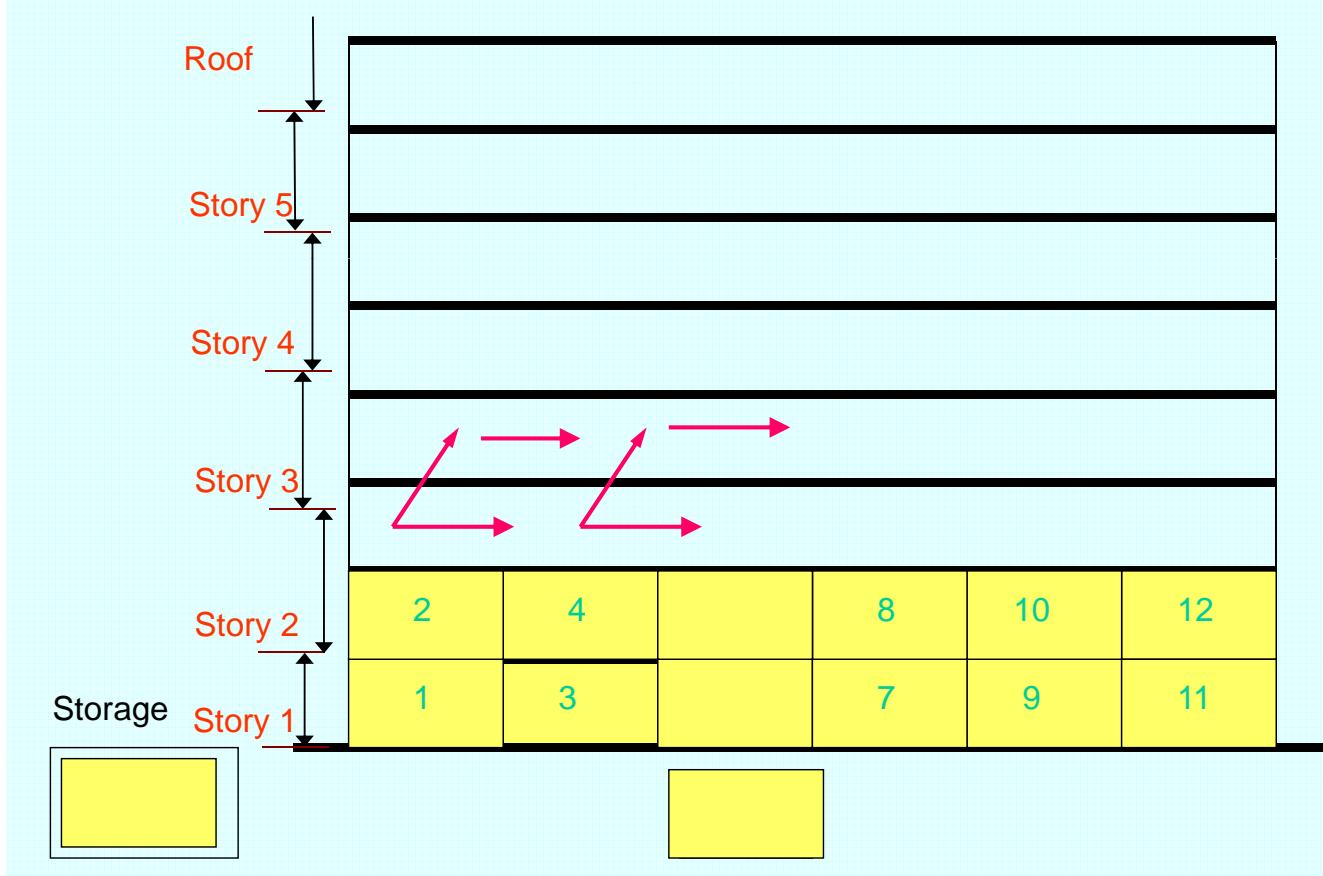
**Construction step-by-step from the top to the bottom – material is transferred simultaneously to all stories before construction**



**Construction step-by-step from the bottom to the top – material is transferred simultaneously to all stories before construction**



**Construction step-by-step in 2 stories from the bottom to the top – material is transferred simultaneously to 2 stories following the construction**





## Prinzip des Vorgehens

**Herausgreifen eines relativ gut isolierbaren Arbeitsprozesses**

**Schritt 1: Beschreiben der üblichen Arbeitsschritte**

**Abilden der Arbeitsschritte in einem Simulationsmodell, dabei:**

- zunächst nachfahren der gewählten Arbeitsweise durch
- Detaillieren in Teilarbeitsschritte,
- Übernahme der Reihenfolgeprinzipien und
- Belegen der Teilschritte mit Aufwands- und Materialwerten

**Schritt 2: Erweiterung auf mögliche Varianten, also:**

- Einbau von alternativen Arbeitsverfahren und Reihenfolgen
- Verifizieren der Aufwands- und Materialwerte
- Vorhalten prinzipieller Entscheidungsmöglichkeit zwischen den Varianten



## Ziel der Forschungsarbeiten

### Schritt 3: Vorhalten der Modellierung und der Varianten für zukünftige, neue Bauprojekte ähnlicher Ausprägung, um

- Mögliche Varianten durchzurechnen und optimale Varianten zu ermitteln,
- Die gewählte Ausführungsvariante für interne und externe Nutzer festzuschreiben und vorzuhalten,
- Bei Änderungen und Störungen eine Arbeitsbasis für eine erneute Optimierung zu haben

### Schritt 4: Erhöhung der Komplexität durch Vernetzung mehrerer Gewerke, also:

- Vorhalten der differenzierten Tools für spezielle Baugewerke und Gewerkekombinationen
- Einbringen der eigenen Algorithmen in eine gemeinsame Simulationsbibliothek