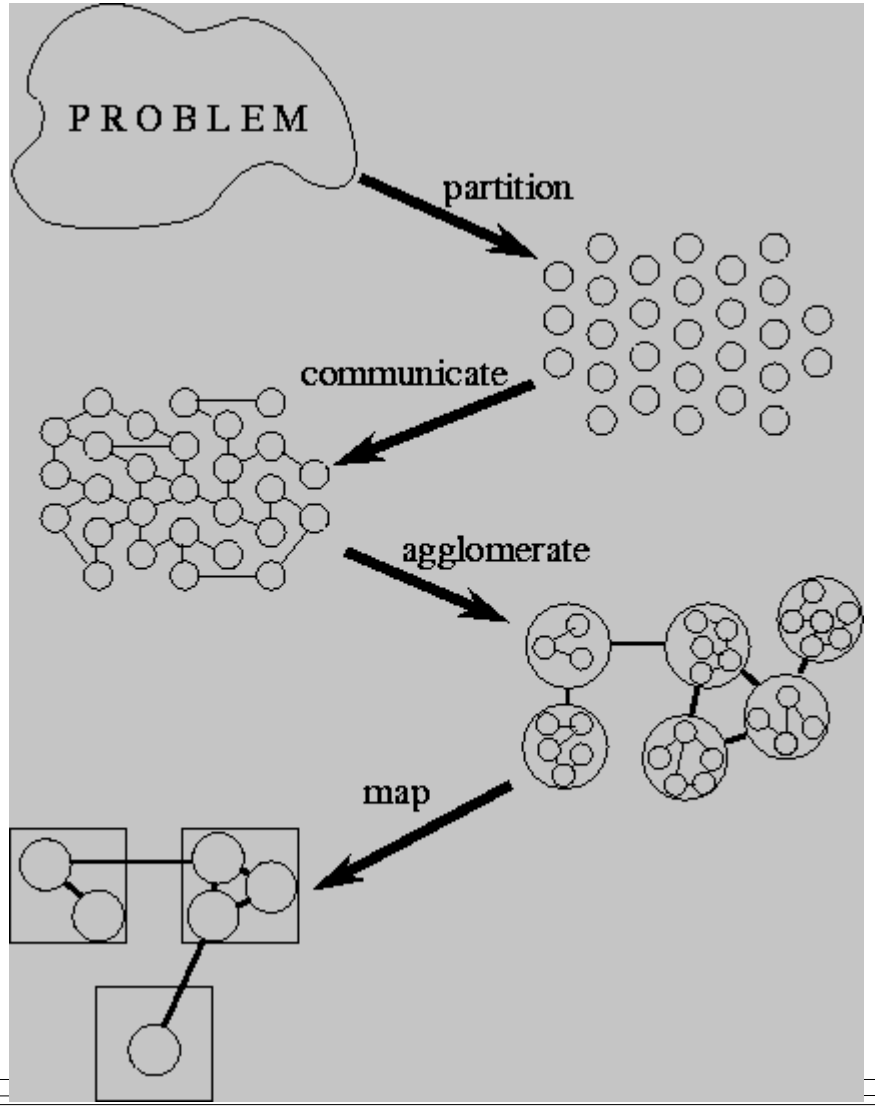
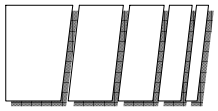
Paralleler Programmentwurf nach Foster

Die PCAM-Methode

- **Partitionierung**
  - **ermittle maximale Parallelität**
- **Communication**
  - **ermittle Daten-abhängigkeiten**
- **Agglomeration**
  - **erhöhe die Granularität der Aufgaben**
- **Mapping**
  - **Prozessorplatzierung**





Partitionierung

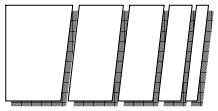
Ziele:

- möglichst feinkörnige problemabhängige Zerlegung der Berechnung und der Daten in Teile (tasks)
  ohne Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Prozessoren
  => inhärente Parallelität, Skalierbarkeit
- Bestimmung der maximal vorhandenen Parallelität
- Vermeidung der Duplizierung von Daten/Berechnungen

Beispiel: Matrixmultiplikation

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1k} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2k} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & b_{ik} & \dots & b_{in} \\ \vdots & & & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nk} & \dots & b_{nn} \end{pmatrix}$$

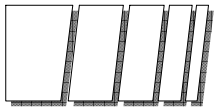
$$= \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1k} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & \dots & c_{2k} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{i1} & \dots & c_{ik} & \dots & c_{in} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \dots & c_{nk} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{mit} \quad c_{ik} = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} * b_{jk}$$



Partitionierung

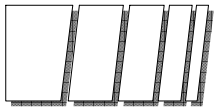
- Grundtechniken
  - Bereichszerlegung ➔ Datenparallelität
  - funktionale Zerlegung ➔ Kontrollparallelität

- im Beispiel Matrixmultiplikation:
  - Bereichszerlegung:
    - Ausgabematrix ➔ n^2 Aufgaben
  - funktionale Zerlegung:
    - n^3 Multiplikationen, $n^2 * (n-1)$ Additionen



Checkliste Partitionierung

- # Tasks >> # Prozessoren? => Flexibilität
- keine redundanten Berechnungen, Speicheranforderungen? => Skalierbarkeit
- vergleichbare Taskgröße? => Lastausgleich
- Steigt die Anzahl der Tasks mit der Problemgröße? (nicht die Größe der Tasks!) => Skalierbarkeit
- alternative Partitionierungen? => Flexibilität



Kommunikation

Ziele:

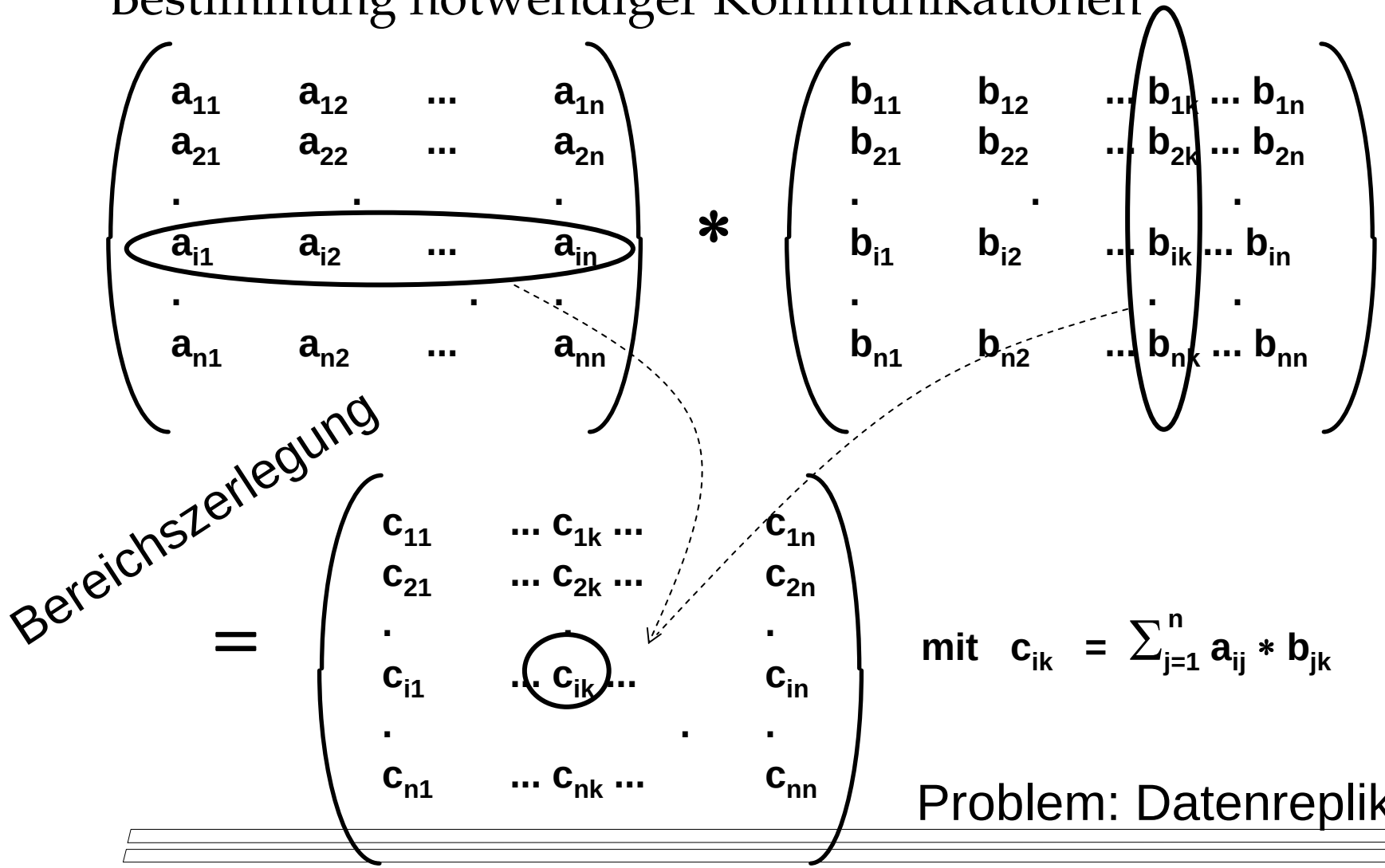
- Identifikation der Kanalstruktur, die erforderlich ist, um Tasks mit den von ihnen benötigten Daten zu versorgen
- Identifikation der zu transportierenden Daten

Kommunikationsmuster:

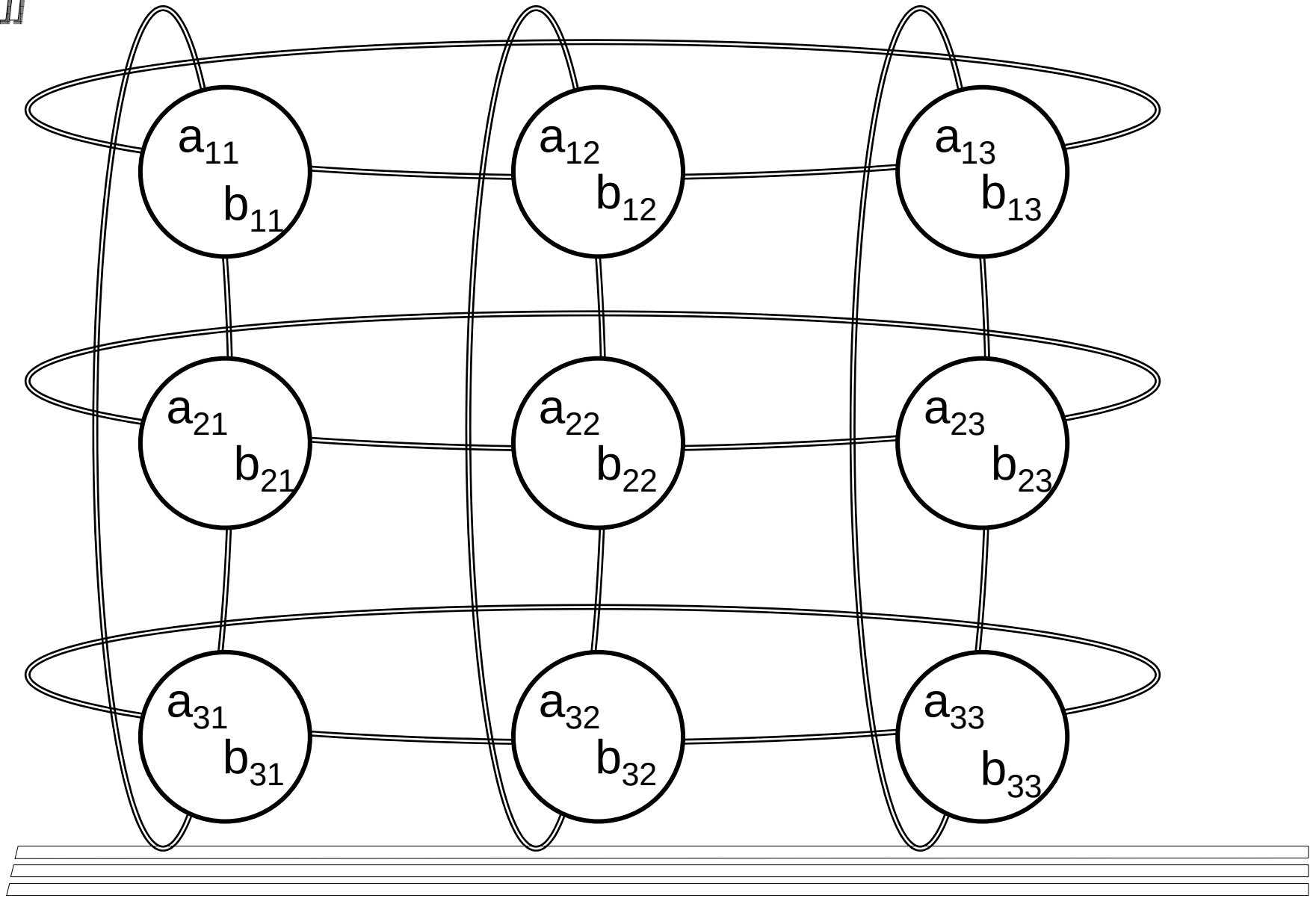
- lokal vs global
- strukturiert vs unstrukturiert
- statisch vs dynamisch
- synchron vs asynchron

Beispiel Matrixmultiplikation

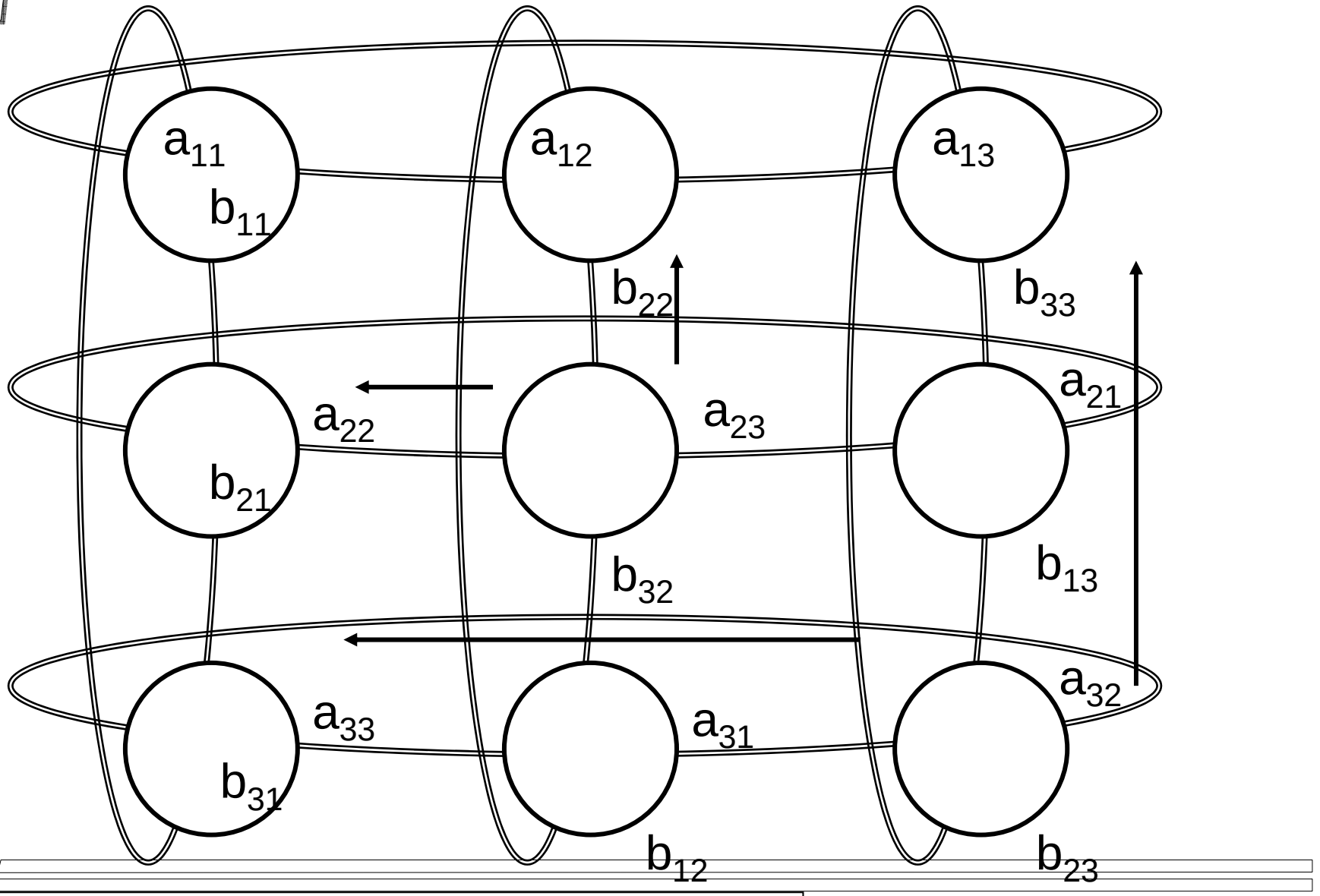
Bestimmung notwendiger Kommunikationen



Lösung: Rotation in Torusstruktur

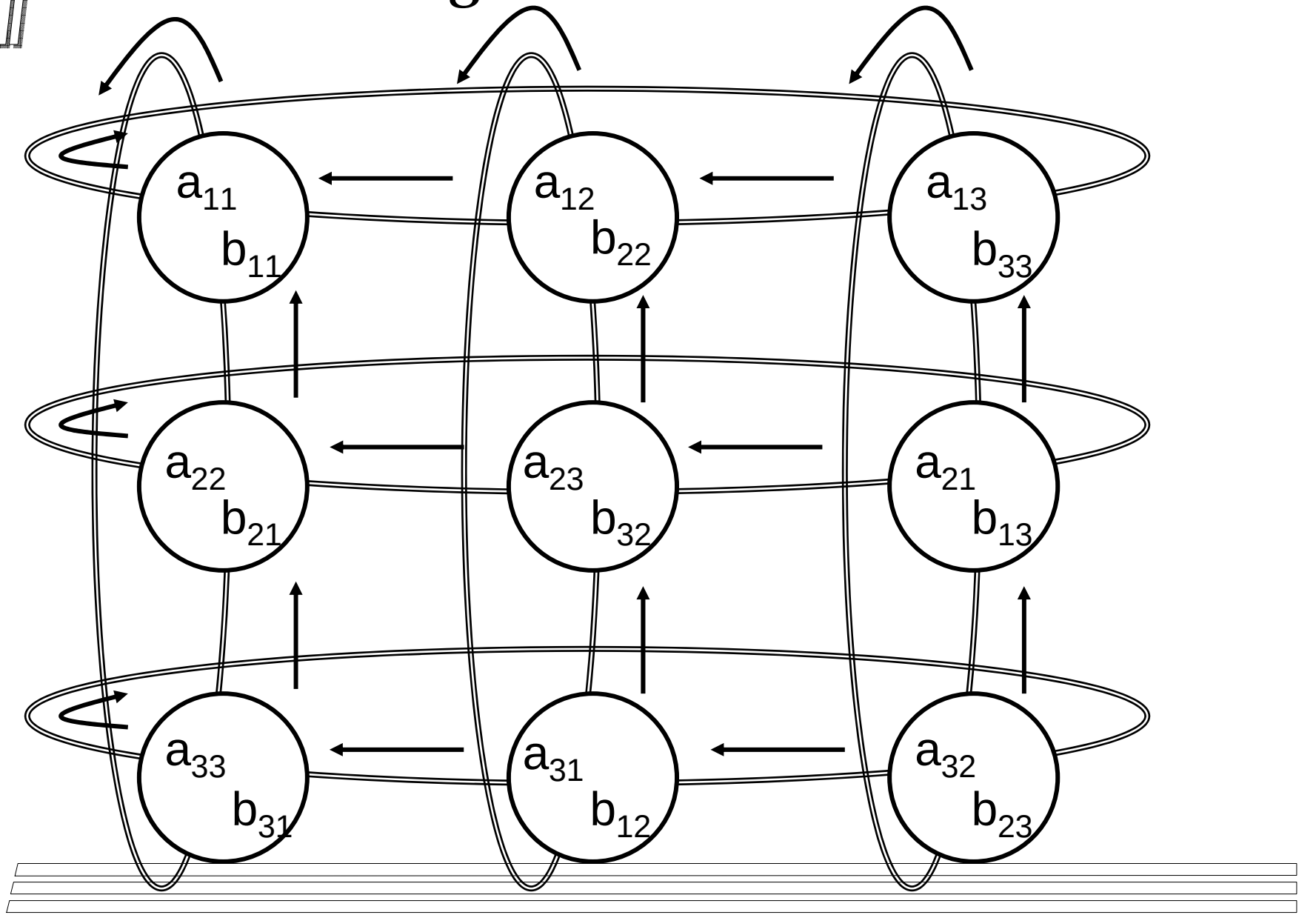


Vorrotation

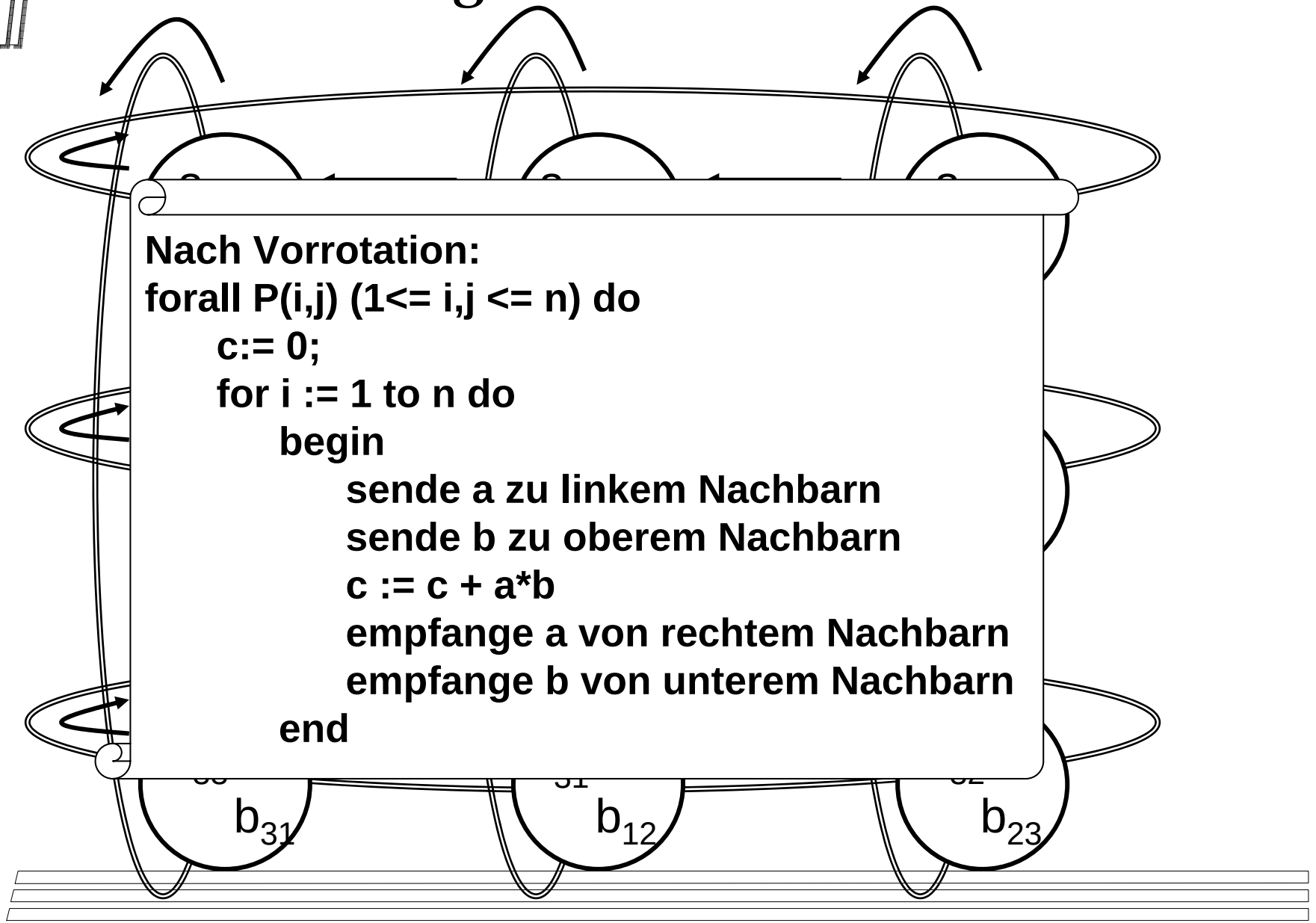


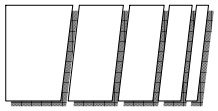
Rotiere i-te Zeile von Matrix A um i-1 Positionen nach links
Rotiere j-te Spalte von Matrix B um j-1 Positionen nach oben

Gentleman-Algorithmus



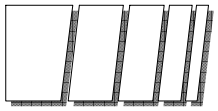
Gentleman-Algorithmus





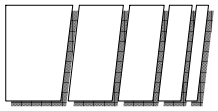
Checkliste Kommunikation

- # Kommunikationen in allen Tasks gleich?
  => Skalierbarkeit, Balance
- möglichst lokale Kommunikationen
  => Effizienz
- Kommunikationen nebenläufig?
- Kommunikation nebenläufig zu Berechnung?



Analyse des Gentleman-Algorithmus

- ursprünglich SIMD-Verfahren
- Tasks gleich komplex
- Anfangsverteilung kann durch geeignete Initialisierung hergestellt werden
- Kommunikation:
  - nur mit Nachbarn => lokal
  - strukturiert und statisch
  - nebenläufig in Zeilen und Spalten
  - überlappend mit Berechnung



Agglomeration

Ziele:

- Minimierung der Kommunikationskosten durch Zusammenfassung von stark interagierenden Teilaufgaben
- Vergrößerung der Aufgaben
- Verbesserung der Skalierbarkeit

Methoden:

- Replikation von Berechnungen
- Überlappung von Kommunikation und Berechnung

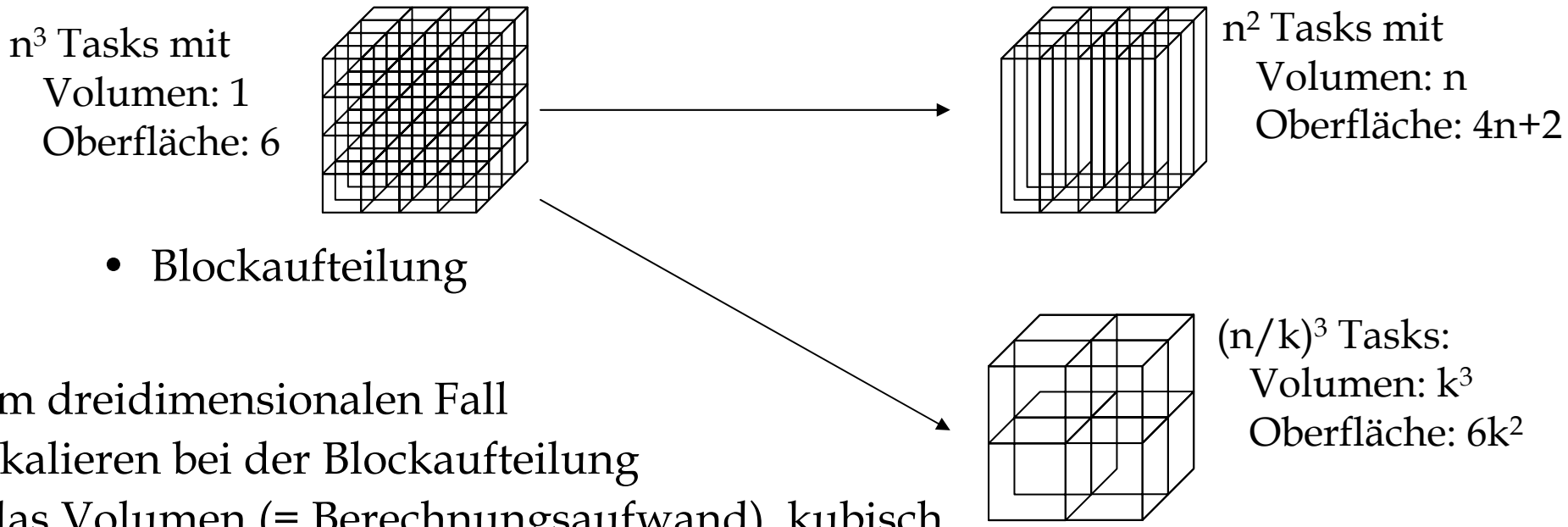
im Beispiel:

- Submatrizen (Teilblöcke) statt einzelner Matrixelemente multiplizieren und rotieren
- Verhältnis Kommunikationsaufwand/Berechnungsaufwand sinkt => gute Skalierbarkeit

Der Oberfläche-Volumen-Effekt

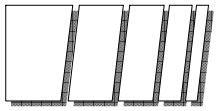
Bei regulären mehrdimensionalen Strukturen, wie Gittern, Würfeln etc. ist eine Agglomeration auf mehrere Weisen möglich:

- Dimensionsreduktion



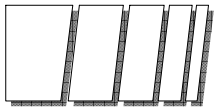
- Blockaufteilung

Im dreidimensionalen Fall
skalieren bei der Blockaufteilung
das Volumen (= Berechnungsaufwand) kubisch
und
die Oberfläche (= Kommunikationsaufwand) quadratisch.



Checkliste Agglomeration

- Reduktion der Kommunikationskosten durch Erhöhung der Lokalität?
- Mehraufwand durch Replikation von Daten/ Berechnungen gerechtfertigt?
- Skalierbarkeit?
- Verhältnis Kommunikations-/Berechnungsaufwand?
- Task-Komplexität ausgeglichen?
- weitere Zusammenfassungen?



Mapping

Ziele:

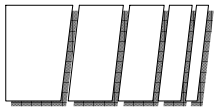
- Zuordnung der parallelen Aufgaben zu Prozessoren (rechnerabhängig)
- Platzierung unabh. Tasks auf versch. Rechnern / Platzierung häufig komm. Tasks auf denselben Proz.

Methoden:

- statische Aufgabenverteilung vs dynamische Lastbalancierung (task scheduling) => Master-Worker-Strukturen

Checkliste:

- alle Alternativen berücksichtigt?
- Implementierungskosten?



Zusammenfassung

- PCAM-Methode erlaubt systematische parallele Programmentwicklung.
- Beispielalgorithmus: Matrixmultiplikation in einer Torusstruktur nach Gentleman