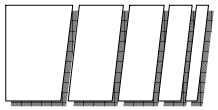
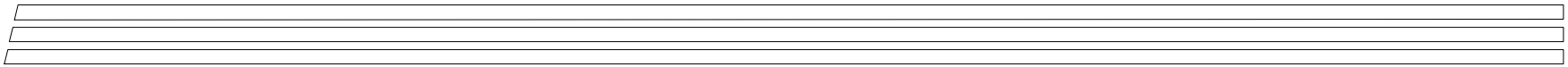
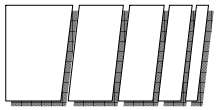


9. *Algorithmische Skelette*

- **Abstrakte parallele Berechnungsschemata**





Skeletons

- **In parallelen Algorithmen treten wiederkehrende Berechnungsmuster auf. Diese Muster bestehen aus**
  - **Berechnungen und**
  - **Interaktionen zwischen ihnen.**

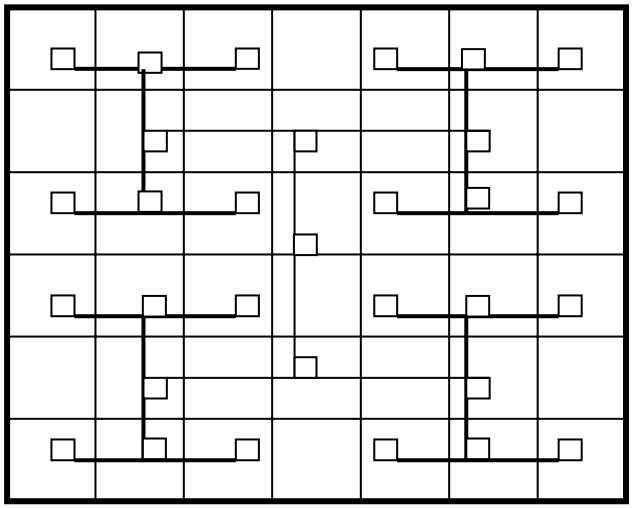
  Von den Details der parallelen Berechnungen wird abstrahiert.
- **Algorithmische Skelette bestehen aus**
  - **einem Berechnungsschema (Funktion höherer Ordnung)**
  - **mit einer parallelen Auswertungsstrategie und**
  - **einem Kostenmodell zur Abschätzung der Ausführungszeit.**
- **Campbell's classification:**
  - **divide and conquer (rekursive Partitionierung)**
  - **task queue (work pool, master worker)**
  - **systolic (pipeline)**

Divide and Conquer

- **Berechnungsschema als Funktion höherer Ordnung:**

```
d&c  ::  (a-> Bool) -> (a->b) ->   (a -> [a]) ->   ([b] -> b) ->   a -> b
d&c      trivial        solve       divide         conquer        p
   =  if (trivial p) then solve p
      else conquer (map (d&c trivial solve divide conquer) (divide p))
```

- **<u>parallele Implementierungsstrategien</u>:**
  - **idealisierte Implementierung auf Prozessorbaum**
  - **H-Baum Implementierung binärer d&c auf dem Grid:**



Task Queue - Farm - Master/Worker

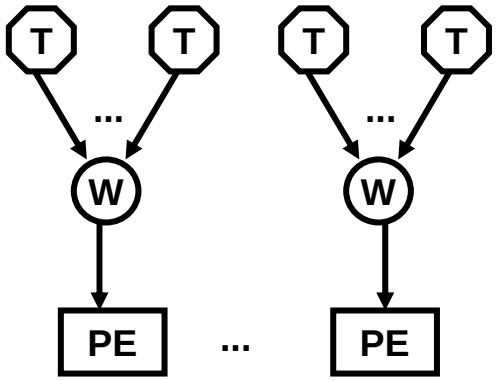
- **Berechnungsschema:**

  farm :: (a -> b -> c) -> a -> [b] -> [c]

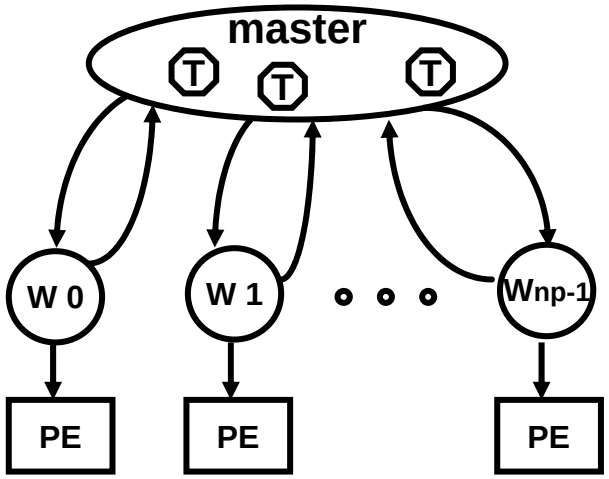
  farm f env = map (f env)

- **Implementierung:**

  - **statische Lastverteilung:**



  – dynamische Lastverteilung:



- **Kostenmodell (statische Verteilung): $t_{farm} = t_{setup} + n/p\ (t_{solve} + 2t_{comm})$**

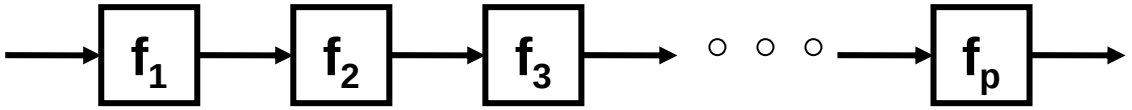
Systolisches Schema - Pipelining

- **Berechnungsschema:**

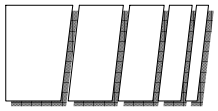
  pipe :: [[a] -> [a]] -> [a] -> [a]
  pipe = foldr (.) id

- **Implementierung:**

  lineare Pipeline von Prozessen



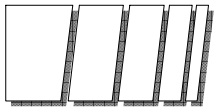
- **Kostenmodell:** $t_{pipe} = t_{setup} + (t_{stage} + t_{comm})(p + n-1)$



Skelettprogrammierung

- **feste Anzahl von Skeletten höherer Ordnung**
  (algorithmische Skelette)
- **verschiedene hoch optimierte Implementierungen für verschiedene Zielarchitekturen (Architekturskelette)**

- **Programmiermethodologie:**
  - **wähle ein passendes Skelett**
  - **verwende diese in einem Programm**
  - **schätze die zu erwartende Leistung => Kostenmodell**
  - **revidiere Design, falls notwendig => Transformationsregeln**



Entwicklung

- **Ursprung:**

  PhD thesis von M. Cole (Univ. of Edinburgh, 1988)

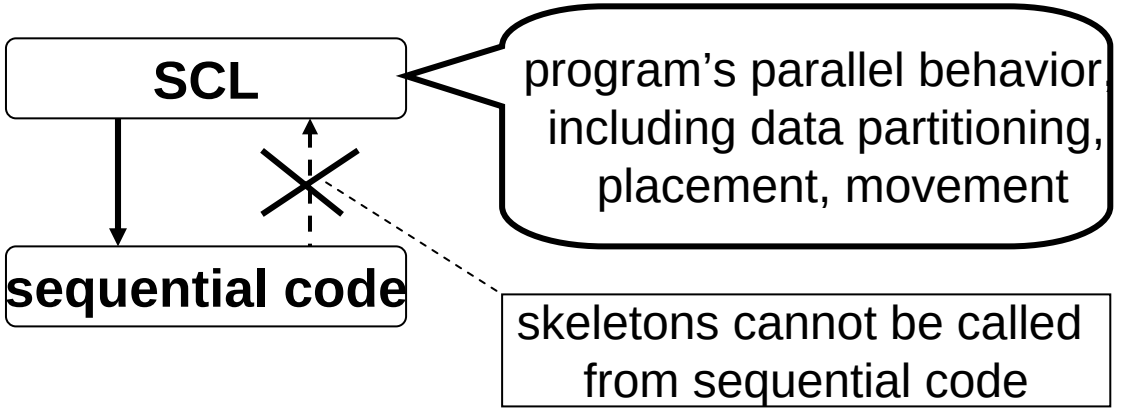
  wenige komplexe Skelette:

  - **FDDC (fixed degree divide & conquer)**
  - **IC (iterative combination)**
  - **TQ (task queue)**

- **erste Systeme:**
  - **P^3L Pisa Parallel Programming Language [Pelagatti et al. 1995] basierend auf imperativer Berechnungssprache**
  - **SCL Structured Coordination Language [Darlington et al. 1995] basierend auf funktionaler Berechnungssprache**

SCL - Structured Coordination Language

layered skeletal approach:



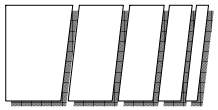
- **provides lower level of detailed control through explicitly distributed arrays ParArray with skeletons:**

  partition :: Partition_pattern -> SeqArray index a
  -> ParArray index (SeqArray index a)

  gather :: Partition_pattern -> ParArray index (SeqArray index a)
  -> SeqArray index a

  align :: ParArray index a -> ParArray index b -> ParArray index (a,b)

- **higher level skeletons:**
  - **elementary / computational / communication skeletons**



SCL Skeletons

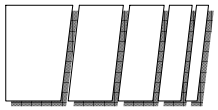
- **elementary skeletons (data parallel operations over distributed arrays)**
  - **map :: (a -> b) -> ParArray index a -> ParArray index b**
  - **imap :: (index -> a -> b) -> ParArray index a -> ParArray index b**
  - **fold :: (a -> a -> a) -> ParArray index a -> a**
  - **scan :: (a -> a -> a) -> ParArray index a -> ParArray index a**
- **computational skeletons (parallel control flow)**
  - **farm :: (a -> b -> c) -> a -> ParArray index b -> ParArray index c**

    farm f e = map (f e)

  - **spmd :: [(ParArray index a -> ParArray index a, index -> a -> a)] ->**
    ParArray index a -> ParArray index a

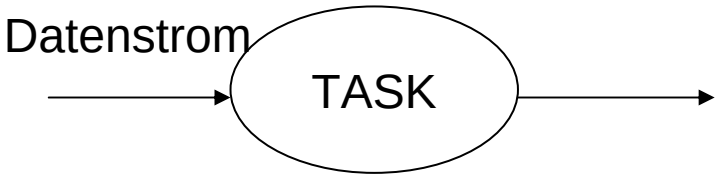
    spmd [ ] = id

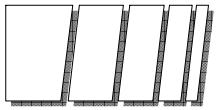
    spmd ((gf, lf) : fs) = (spmd fs) . gf . (imap lf)
  - **...**
- **communication**
  - **rotate :: Int -> ParArray index a -> ParArray index a**
  - **...**



Standardisierung – Skelettbibliotheken für MPI –

- **H. Kuchen (Univ. Münster, 2002)**
  - **Skelette als C++ Bibliothek auf der Basis von MPI**
    - **Polymorphie über Templates simulieren**
    - **Funktionen höherer Ordnung mittels überladener Operatoren**
  - **Unterscheidung**
    - **datenparallele Skelette**
      - **Manipulation verteilter Datenstrukturen**
      - **Berechnungsskelette: map, fold, zip, scan ...**
      - **Kommunikationsskelette: rotate, broadcast, permute, gather ...**
    - **kontrollparallele Skelette**
      - **pipe, farm, d&c, search**
      1. **Erzeuge Prozesstopologie**
      2. **starte Tasks (parallele Prozesse)**





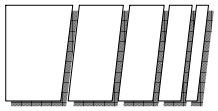
Standardisierung – Skelettbibliotheken für MPI II –

- **M. Cole, A. Benoit (Univ. of Edinburgh, 2004)**
  - **eSkel – Edinburgh Skeleton Library**

Ziel: Erweiterung von kollektiven Operationen (einfache Skelette) in MPI um algorithmische Skelette

Zur Zeit: 5 Skelette

1. **pipeline**
2. **farm**
3. **deal (wie farm, ohne farmer mit zyklischer Taskverteilung)**
4. **haloswap -> iterative Approximation**
   - **Schleife mit**
     - **local update**
     - **check for termination**
5. **butterfly -> divide & conquer in hypercube**



Pipeline Skelett

```
void Pipeline (int ns, Amode_t amode[],
                    eSkel_molecule_t * (*stages[])(eSkel_molecule_t ), int col,
                    Dmode t dmode, spread t spr[], MPI_Datatype ty[],
                    void  *in, int inlen, int inmul, void  *out, int outlen,
                    int  *outmul, int outbuffsz, MPI_Comm comm)
```

=> 15 Parameter:

- **3 Parameter für Pipeline Eingaben**
- **4 Parameter für Pipeline Ausgaben**
- **3 Parameter für Pipeline-Stufen-Spezifikation**
- **4 Parameter für Schnittstellen & Modi**
- **1 Parameter für Kommunikator**