

# Praktikum: Paralleles Programmieren für Geowissenschaftler

Prof. Thomas Ludwig, Hermann Lenhart & Tim Jammer





# OpenMP Einführung II:

- Parallele Konstrukte
- Clauses
- Synchronisation
- Reduction



# OpenMP – Parallele Konstrukte I

## Parallel Konstrukt:

`!$omp parallel [clausel 1, ...,clausel n]`

-> siehe Quick reference

Parallele Region

`!$omp end parallel`

Innerhalb der vom "`!$omp parallel`" Konstrukt aufgespannten parallelen Region werden Konstrukte für die Verteilung auf die Threads definiert, z.B.

`!$omp do`

Iteration in Schleifen

`!$omp sections`

unabhängige Arbeitseinheiten

`!$omp workshare`

Parallelisiert Array Syntax



# OpenMP – Parallele Konstrukte II

**Parallel Konstrukt kombiniert mit Section:**

`!$omp parallel`

=> Beginn Parallel Region

`!$omp sections`

`!$omp section`

call subroutine A

- strukturierter Block A

`!$omp section`

call subroutine B

- strukturierter Block B

`!$omp end sections`

- Ende Sections Blöcke A+B

`!$omp end parallel`

=> Ende parallele Region

**! Keine Annahme über Reihenfolge**

**Load-Balance Probleme können auftauchen!**



## OpenMP – Parallele Konstrukte III

**Combined Konstrukt kombiniert mit Workshare:** **(nur in FORTRAN!)**

```
!$omp parallel workshare shared (n,a,b,c)
```

```
    a(1:n) = a(1:n) +1
```

```
    b(1:n) = b(1:n) + 2
```

```
    c(1:n) = c(1:n) + 3
```

```
!$ omp end parallel workshare
```

**! Es wird nicht spezifiziert wie die Arbeitseinheiten auf die Threads zugeteilt werden!**

**! User muss für Parallelität in den Daten sorgen,  
d.h. es darf keine versteckten Abhängigkeiten geben!**



## OpenMP – Clause III

**SCHEDULE** nur für Loops anzuwenden

Syntax: !\$omp do schedule(kind[,chunk\_size])

**kind:**

**static** die direkteste Zuordnung mit dem wenigsten Overhead  
Iterationen werden in Portionen der Größe *chunk\_size* aufgeteilt

ohne Angabe von *chunk\_size* wird der Iterationsraum  
gleichmäßig auf die Threads aufteilt



# OpenMP – Clause IV

**SCHEDULE** nur für Loops anzuwenden

Syntax: !\$omp do schedule(kind[,chunk\_size])

**kind:**

**dynamic** Iterationen werden nach der Verfügbarkeit der Threads zugewiesen.

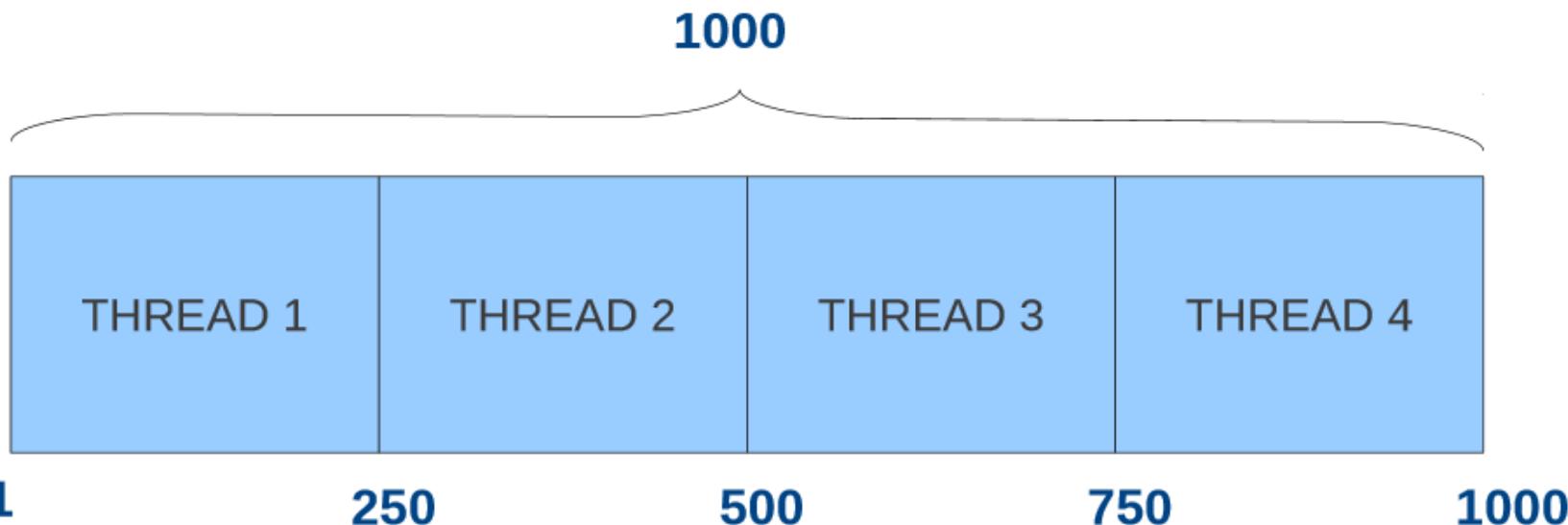
Jeder freie Thread bekommt einen Chunk zugewiesen bis alle Iterationen abgearbeitet sind.

**guided** wie dynamic, nur dass die Chunks der noch zu bearbeitenden Iterationen immer kleiner werden.

# How OMP schedules iterations?

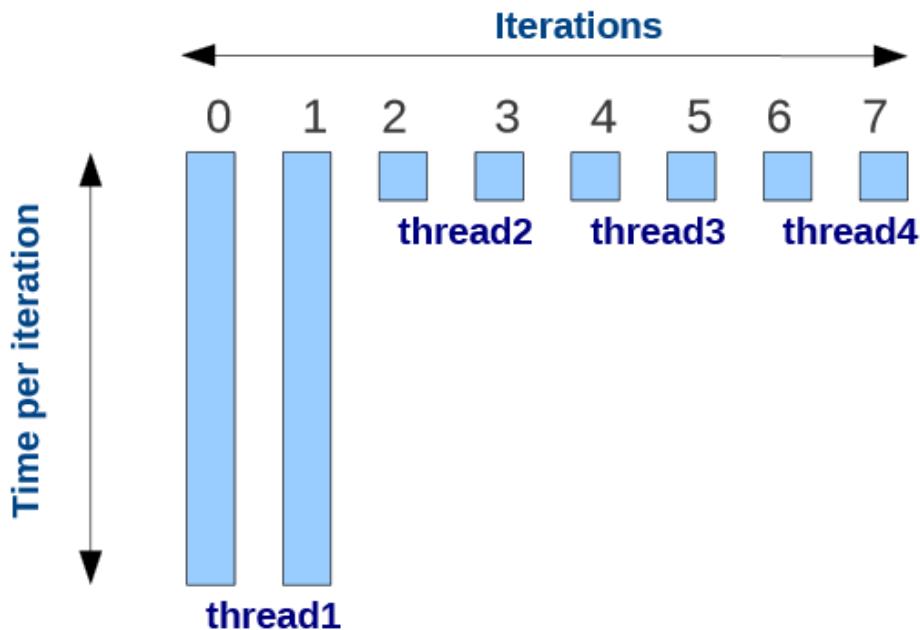
Although the OpenMP standard does not specify how a loop should be partitioned most compilers split the loop in  $N/p$  ( $N$  #iterations,  $p$  #threads) chunks by default. This is called a **static schedule** (with chunk size  $N/p$ )

*For example, suppose we have a loop with 1000 iterations and 4 omp threads.  
The loop is partitioned as follows:*



# Issues with Static schedule

With static scheduling the number of iterations is evenly distributed among all openmp threads (i.e. Every thread will be assigned similar number of iterations). This is not always the best way to partition. Why is This?



*This is called load imbalance. In this case threads 2,3, and 4 will be waiting very long for thread 1 to finish*

**How can this happen?**

# Dynamic Schedule

With a dynamic schedule new chunks are assigned to threads when they come available. OpenMP provides two dynamic schedules:

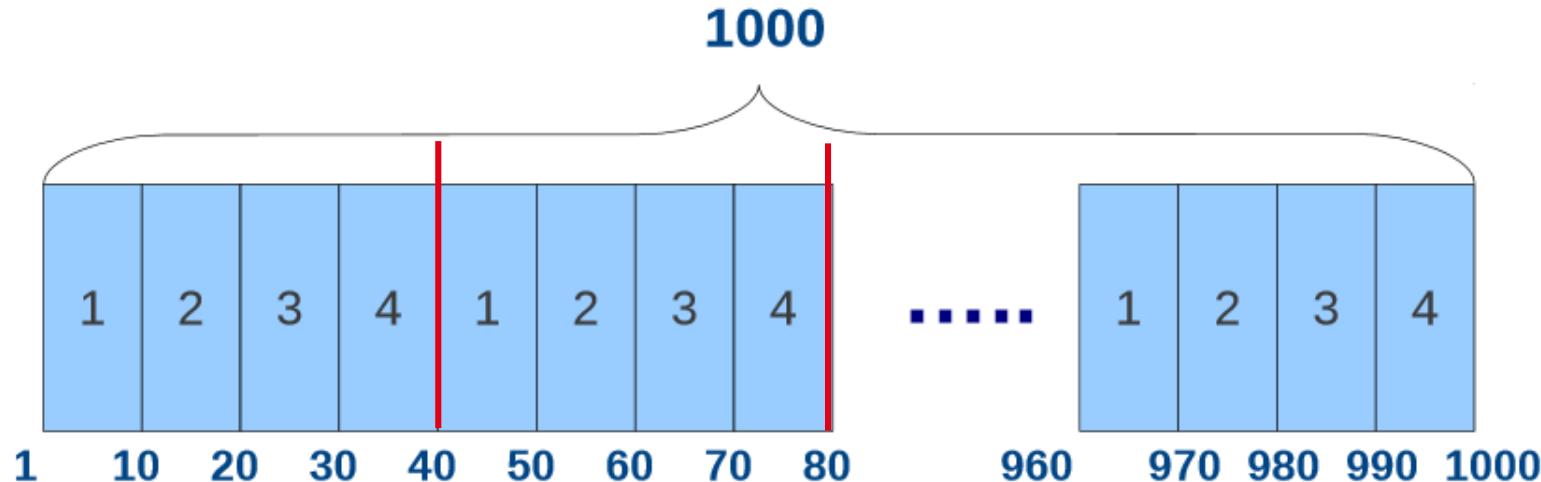
- ◆ **`$!OMP DO SCHEDULE(DYNAMIC,n)`** // n is chunk size  
Loop iterations are divided into pieces of size chunk. When a thread finishes one chunk, it is dynamically assigned another.
- ◆ **`$!OMP DO SCHEDULE(GUIDED,n)`** // n is chunk size  
Similar to DYNAMIC but chunk size is relative to number of iterations left.

# Static Schedule

To explicitly tell the compiler to use a static schedule (or a different schedule as we will see later) OpenMP provides the SCHEDULE clause

**\$!OMP DO SCHEDULE (STATIC,n) // (n is chunk size)**

*For example, suppose we set the chunk size n=10*



# Dynamic Schedule

With a dynamic schedule new chunks are assigned to threads when they come available. OpenMP provides two dynamic schedules:

- ◆ **`$!OMP DO SCHEDULE(DYNAMIC,n)`** // n is chunk size  
Loop iterations are divided into pieces of size chunk. When a thread finishes one chunk, it is dynamically assigned another.
- ◆ **`$!OMP DO SCHEDULE(GUIDED,n)`** // n is chunk size  
Similar to DYNAMIC but chunk size is relative to number of iterations left.

*Keep in mind: although Dynamic scheduling might be the preferred choice to prevent load imbalance in some situations, there is a significant overhead involved compared to static scheduling.*

```
!$omp parallel do default.none) &  
!$omp shared(dataOld,data) private(i,j)  
do i=2,ubound(data,1)-1  
  do j=2,ubound(data,2)-1  
    data(i,j) = Berechnung Star  
  end do  
end do  
!$omp end parallel do
```

Im makefile: für 10 Threads

**Static mit Chunk-Size 4:**

```
export omp_schedule=static,4 OMP_NUM_THREADS=10
```

**Dynamic mit Chunk-Size 4**

```
export omp_schedule=dynamic,4 OMP_NUM_THREADS=10
```

**Guided:**

```
export omp_schedule=guided OMP_NUM_THREADS=10
```

---

Im Programm:

```
!$omp parallel do default(none) &  
!$omp shared(dataOld,data) private(i,j)  
.....  
!$omp end parallel do
```



## OpenMP – Reduction I

Die **REDUCTION CLAUSE** wird von OpenMP bereitgestellt um wiederkehrende Berechnungen, z.B. Summationen, einfach durchzuführen.

Syntax: `reduction ({operator | intrinsic_procedure_name} :list)`

```
!$omp parallel do reduction(+:sum)
```

```
  do i = 1, n
    sum = sum + a(i)
  enddo
```

Sorgt aber intern auch für spezifische Zugriffsrechte.

Dazu folgendes Beispiel.



# OpenMP – Reduction II

## Problemstellung:

```
!$omp parallel do
```

a ist „shared“ da alle Threads  
darauf zugreifen müssen

```
do i = 1,1000
```

```
    a = a + i
```

aber nur ein Thread soll zu einem gegebenen  
Zeitpunkt schreiben bzw. a updaten können

```
end do
```

sonst würde ein undefinierbares Ergebnis erfolgen

```
!$omp end parallel do
```

Quelle: Miguel Hermanns



# OpenMP – Reduction III

Problemstellung:

```
!$omp parallel do      reduction(+:a)  
  
do j = 1,1000          nur ein Thread pro Zeitpunkt darf a verändern  
                      a = a + i  
  
end do  
  
!$omp end parallel do
```

Quelle: Miguel Hermanns



## OpenMP – Reduction II

Für die **REDUCTION CLAUSE** stehen folgende Operatoren und Initialwerte bereit:

<u>Operator</u>	<u>Initialwert</u>
+ / -	0
*	1
.and. / .eqv.	.true.
.or. / .neqv.	.false.

<u>Intrinsische Funktion</u>	<u>Initialwert</u>
max	kleinste Zahl in der reduction Elemente Liste
min	größte Zahl in der reduction Elemente Liste



## OpenMP – Synchronisation

**BARRIER** sind Synchronisationspunkte bei denen die einzelnen Threads aufeinander warten. Keinem Thread wird erlaubt im Programm fortzufahren, bis alle anderen Threads ebenfalls diesen Programmpunkt erreicht haben.

Syntax: !\$omp barrier



# Danke das wars!