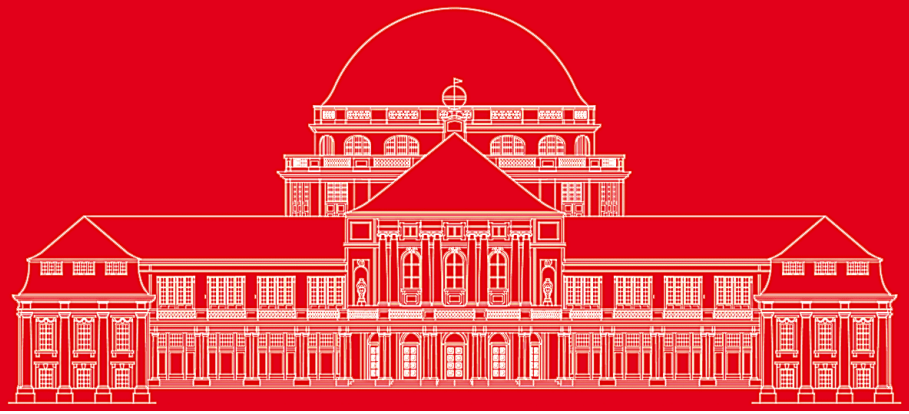
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Praktikum: Paralleles Programmieren für Geowissenschaftler

Prof. Thomas Ludwig, Hermann Lenhart & Michael Blesel



Dr. Hermann-J. Lenhart
hermann.lenhart@uni-hamburg.de

OpenMP – Allgemeine Einführung I

OpenMP Merkmale:

OpenMP ist keine Programmiersprache!

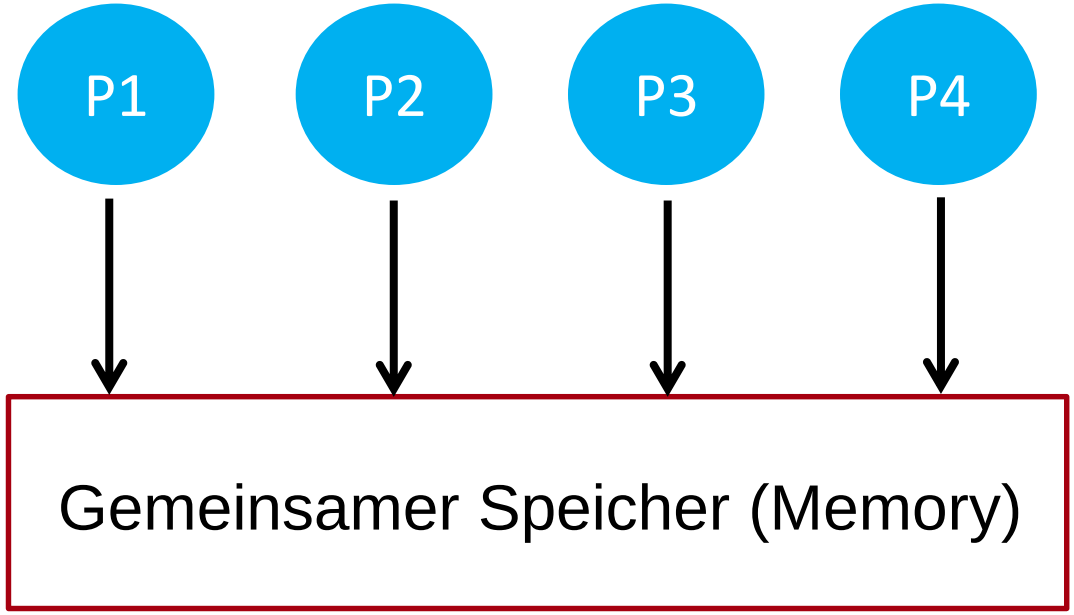
OpenMP Notationen werden zu einem sequentiellen FORTRAN Programmen hinzugefügt
um anzugeben wie die Arbeit auf die Prozesse verteilt wird und
wie der gemeinsame Speicherzugriff erfolgen soll.

Wichtigstes Kriterium für OpenMP ist die Nutzung eines gemeinsamen Speichers.
(shared memory application)

OpenMP – Allgemeine Einführung II

OpenMP Merkmal gemeinsamer Speicher:

SMP:
Symmetrisches Multiprozessersystem
(symmetric multiprocessing)



OpenMP – Allgemeine Einführung III

Vorteil von OpenMP: inkrementeller Einsatz in sequentiellem FORTRAN Programm

```
Subroutine saxpy (z,a,x,y,n)
Integer :: i, n
Real :: a, y, z(n), x(n)

      do i = 1,n
         z(i) = a + x(i)+y
       enddo

return
end
```

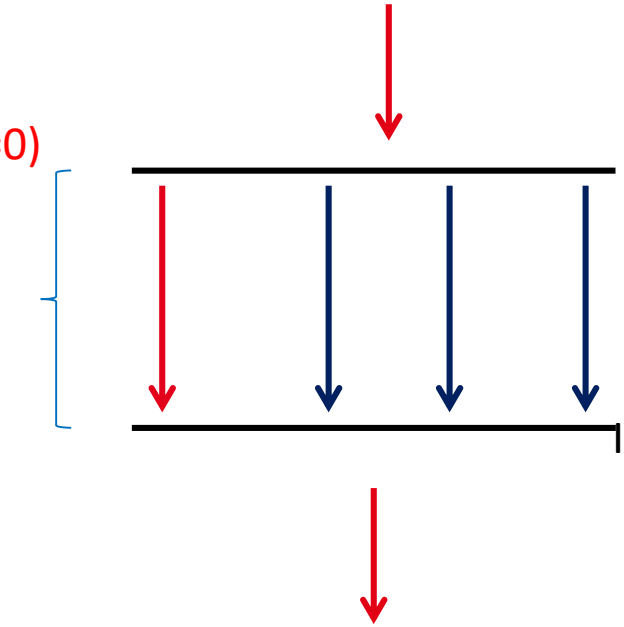
```
Subroutine saxpy (z,a,x,y,n)
Integer :: i, n
Real :: a, y, z(n), x(n)
      !$omp parallel do
      do i = 1,n
         z(i) = a + x(i)+y
       enddo
      !$omp end parallel do
return
 end
```

OpenMP Fork-Join Programmier Model

OpenMP Merkmale!

Master-Thread (ID=0)

Parallel Region



Sequentieller Programmteil

Eintritt parallel do – kreiert Threads

Aufteilung Iterationen auf Threads
(redundanter Code)

Implizite Barriere: Warten auf alle Threads

Macht nach enddo Schleife allein weiter

OpenMP – Allgemeine Einführung IV

Eine Stärke von OpenMP ist der inkrementelle Einsatz in sequentiellen Programmen:

OpenMP Direktiven werden in einem speziellen Format angegeben (!$ OMP …),
die nur der OpenMP Compiler versteht,
für den regulären FORTRAN Compiler aber nur als Kommentare interpretiert werden.

OpenMP – Allgemeine Einführung IV

Eine Stärke von OpenMP ist der inkrementelle Einsatz in sequentiellen Programmen:

OpenMP Direktiven werden in einem speziellen Format angegeben (!$ OMP …),
die nur der OpenMP Compiler versteht,
für den regulären FORTRAN Compiler aber nur als Kommentare interpretiert werden.

Schritte für OpenMP Implementierung:

A) Finde Bereiche zur Parallelisierung im sequentiellen FORTRAN Programm !

B) Dann **inkrementelle Einarbeitung** von OpenMP in existierendes FORTRAN Programm.
(Vorteil: rein sequentielles Debugging immer noch möglich)

OpenMP Syntax I

Folgende OpenMP Syntax kann in FORTRAN umgesetzt werden:

!$OMP DO	Verteilt die Schleifen Iterationen auf die Threads
!$OMP SECTION	Verteilt unabhängige Arbeitseinheiten z.B. Funktionen
!$OMP SINGLE	Nur **EIN Thread** führt den Programmblock aus
!$OMP WORKSHARE	Parallelisiert Array Syntax

Die Beendigung der parallelen Region erfolgt entsprechen mit !$ end [Option], z.B.

!$OMP END … z.B.: für Schleife !$OMP END DO

OpenMP - Einführungsbeispiel I

```
Subroutine mxv (m,n,a,b,c)                ! Matrix-Vektor Produkt
implicit none
integer  (kind=4) :: m, n
real (kind = 8)     :: a(1:m), b(1:m,1:n), c(1:n)
integer               :: i,j
!$OMP PARALLEL DO DEFAULT(NONE)     &
!$OMP SHARED (m,n,a,b,c) PRIVATE(i,j)
        do i = 1,m
                a(i) = 0.0
                do j = 1,n
                        a(i) = a(i) + b(i,j) * c(j)
                enddo
        enddo
!$ OMP END PARALLEL  DO
....
```

OpenMP Einführungsbeispiel II

```
Subroutine mxv (m,n,a,b,c)              ! Matrix-Vektor Produkt
……..
!$OMP PARALLEL DO DEFAULT(NONE)    &
!$OMP SHARED (m,n,a,b,c) PRIVATE(i,j)
      do i = 1,m
            a(i) = 0.0
            do j = 1,n
                  a(i) = a(i) + b(i,j) * c(j)
            enddo
      enddo
!$OMP END PARALLEL  DO
….
```

parallele Region

OpenMP kann angewendet werden da:

* Iterationen voneinander unabhängig sind
  z.B. vv(i,j) = vv (i+1,j) + a(i,j) **geht nicht!**
  hier würde der Wert der i+1 Iteration genutzt
  d.h. **die Datenabhängigkeiten sind zu prüfen!**

* die OpenMP Direktiven beziehen sich auf „strukturierte Blöcke“ von FORTRAN Code
  d.h. es darf keine Verzweigung (Branch) in oder aus der parallelen Region geben

OpenMP Einführungsbeispiel III

```
Subroutine mxv (m,n,a,b,c)
……..
!$OMP PARALLEL DO DEFAULT(NONE)    &
!$OMP SHARED (m,n,a,b,c) PRIVATE(i,j)
      do i = 1,m
            a(i) = 0.0
            do j = 1,n
                  a(i) = a(i) + b(i,j) * c(j)
            enddo
      enddo
!$OMP END PARALLEL  DO
….
```

Die OpenMP Direktive (PARALLEL DO) bezieht sich auf die direkt nachfolgende FORTRAN Zeile (do i =1,m)

und parallelisiert damit auch nur die i-Schleife.

Verschachtellungen sind möglich.

OpenMP Einführungsbeispiel IV

```
Subroutine mxv (m,n,a,b,c)
……..
!$OMP PARALLEL DO DEFAULT(NONE)    &
!$OMP SHARED (m,n,a,b,c) PRIVATE(i,j)
      do i = 1,m
            a(i) = 0.0
            do j = 1,n
                  a(i) = a(i) + b(i,j) * c(j)
            enddo
      enddo
!$OMP END PARALLEL  DO
….
```

Wichtig ist die Definition der Nachfolgezeile mittels & in FORTRAN Notation!

(Syntaxfehler werden ohne Warnung ignoriert!)

OpenMP Einführungsbeispiel IV

```
Subroutine mxv (m,n,a,b,c)
……..
!$OMP PARALLEL DO DEFAULT(NONE)    &
!$OMP SHARED (m,n,a,b,c) PRIVATE(i,j)
        do i = 1,m
                a(i) = 0.0
                do j = 1,n
                        a(i) = a(i) + b(i,j) * c(j)
                enddo
        enddo
!$OMP END PARALLEL  DO
….
```

Die OpeMP Direktive beinhaltet ebenfalls die Regelung der Zugriffsrechte:

DEFAULT (NONE) überlässt dem User die persönliche Festlegung der Zugriffsrechte

SHARED (m,n,a,b,c) erlaubt allen Threads den gleichzeitigen Zugriff auf die gelisteten Variablen

PRIVATE(i,j) setzt die beiden Variablen private, so dass jeder Thread nur Zugang zu einer lokalen, einmaligen Kopie der Variablen hat.

OpenMP Thread Abfrage als Funktionsaufruf I

Folgende OpenMP Funktionen ermöglichen Informationen zu den Threads:

OMP_GET_NUM_THREADS ()	Anzahl der arbeitenden (in use) Threads
OMP_GET_THREAD_NUM()	ID des aktuellen Threads
OMP_GET_MAX_THREADS()	Maximale Anzahl der verfügbaren Threads

OpenMP Thread Abfrage als Funktionsaufruf II

```
PROGRAM HELLOTHREADS
INTEGER THREADS , ID
!$OMP PARALLEL
threads = omp_get_num_threads()
id = omp_get_thread_num()
PRINT *, "NUM THREADS:", THREADS
PRINT *, "hello from thread:",id," out of", threads
!$OMP PARALLEL END
STOP
END
```

Quelle: http://sc.tamu.edu/shortcourses/SC-openmp/OpenMPSlides_tamu_sc.pdf

OpenMP Bestimmung der Thread Anzahl I

Folgende OpenMP Syntax wird für die Auswahl der Threadanzahl verwendet:

A) im Aufruf des Programmes z.B. im Makefile:

```
gfortran -fopenmp -o hello hello.f90
```
Kompilieren

```
export OMP_NUM_THREADS=4
```
Umgebungsvariable setzen (unter bash)

bzw.

```
setenv OMP_NUM_THREADS  4
```
Umgebungsvariable setzen (unter csh)

```
./hello
```
Ausführung

OpenMP Bestimmung der Thread Anzahl II

Folgende OpenMP Syntax wird für die Auswahl der Threadanzahl verwendet:

B) Aufruf über Subroutine Call im Programm selbst z.B. :

Call OMP_SET_NUM_THREADS (4)

Dazu muss voher die OpenMP Anbindung im Makefile erfolgen:

gfortran -fopenmp -o hello hello.f90 Kompilieren

OpenMP Übersicht

- Stärke von OpenMP ist der inkrementelle Einsatz in sequentiellen Programmen
  (nach Fork-Join Programmier-Modell)

- Erster Schritt in Anwendung: Definition von Bereichen zur Parallelisierung

- Dann prüfen: Datenabhängigkeit
  Regelung der Zugriffsrechte

- Hinweis zur Syntax: Definition Nachfolgereihe in FORTRAN Notation

Danke das wars!