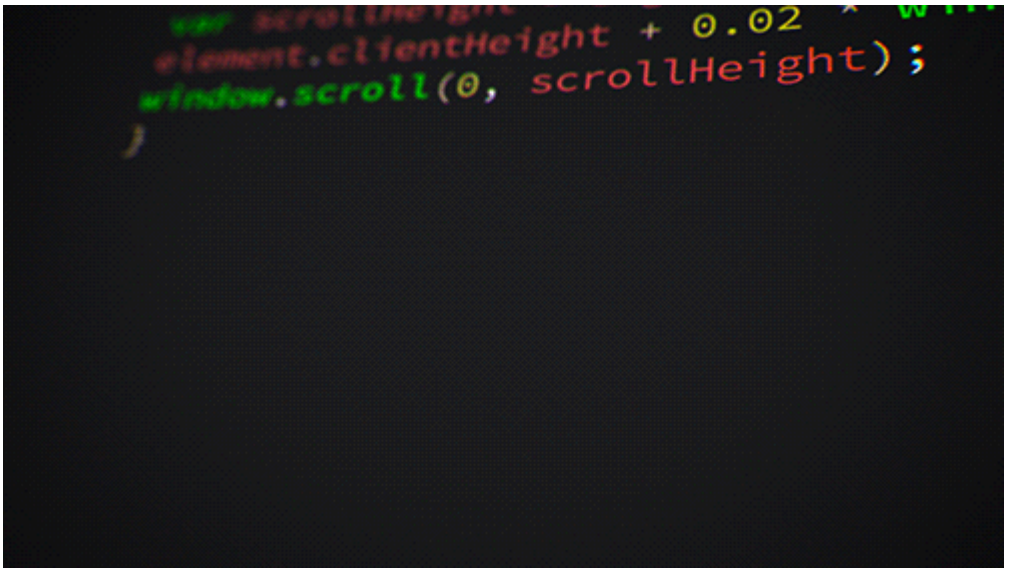
# Threads

| Parameter | Kursinformationen |
| --- | --- |
| Veranstaltung: | `Vorlesung Softwareentwicklung` |
| Teil: | `23/27` |
| Semester | `Sommersemester 2025` |
| Hochschule: | `Technische Universität Freiberg` |
| Inhalte: | Multithreading Konzepte, Thread-Modell und Interaktion, Implementierung in C#, Datenaustausch, Locking, Thread-Pool |
| Link auf den GitHub: | https://github.com/TUBAF-IfI-LiaScript/VL_Softwareentwicklung/blob/master/23_Threads.md |
| Autoren | Sebastian Zug, Galina Rudolf & André Dietrich |




---

## Rückfrage letzte Woche

https://liascript.github.io/course/?https://raw.githubusercontent.com/TUBAF-IfI-LiaScript/VL_Softwareentwicklung/master/21_Delegaten.md#10

Hier gab es eine Rückfrage zum `ref` im Aufruf von Transformers. Dies ist nicht notwendig. Warum?

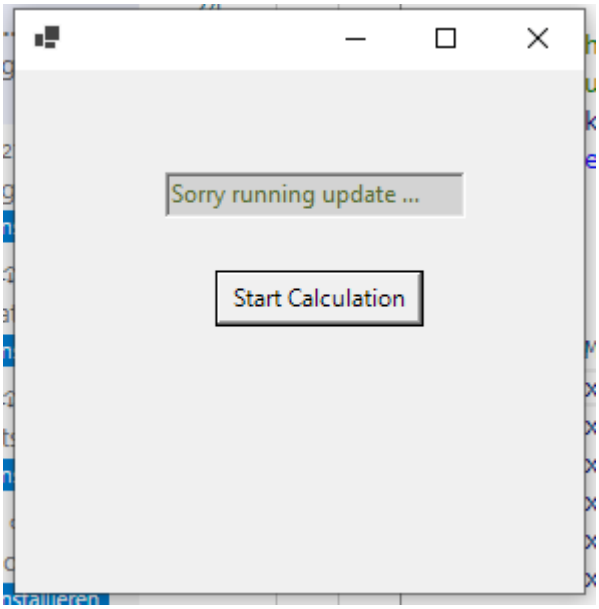
**ReplaceArray.cs**

```
1  using System;
2
3  class Program
4  {
5      static void ReplaceArray(int[] arr)
6      {
7          arr [0] = 42;  // Modifiziert nur die Werte im ursprüngliche
8          //arr = new int[] { 99, 100, 101 };  // Neue Referenzzuweisun
9      }
10
11     static void Main()
12     {
13         int[] myArray = { 1, 2, 3 };
14         ReplaceArray(myArray);
15
16         foreach (int i in myArray)
17             Console.Write(i + " ");  // Ausgabe: 1 2 3 (NICHT verände
18     }
19 }
```

```
42 2 3 42 2 3
```

## Motivation - Threads

Bisher haben wir rein sequentiell ablaufende Programme entworfen. Welches Problem generiert dieser Ansatz aber, wenn wir in unserer App einen Update-Service integrieren?



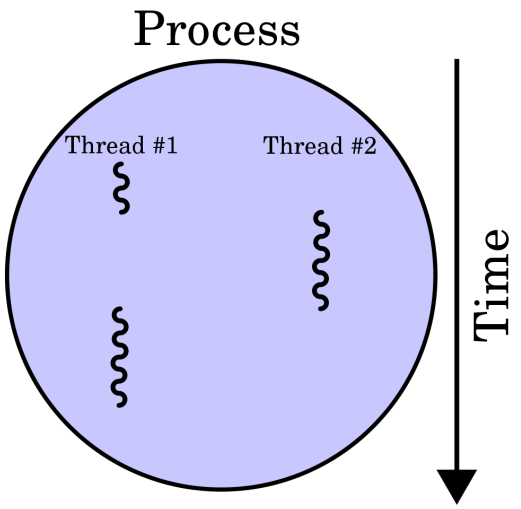
Erweiterte Variante unseres Windows Form Beispiels

## Grundlagen

> Ein Ausführungs-Thread ist die kleinste Sequenz von programmierten Anweisungen, die unabhängig von einem Scheduler verwaltet werden kann, der typischerweise Teil des Betriebssystems ist.

Die Implementierung von Threads und Prozessen unterscheidet sich von Betriebssystem zu Betriebssystem, aber in den meisten Fällen ist ein Thread ein Bestandteil eines Prozesses.

Innerhalb eines Prozesses können mehrere Threads existieren, die gleichzeitig ausgeführt werden und Ressourcen wie Speicher gemeinsam nutzen, während verschiedene Prozesse diese Ressourcen nicht gemeinsam nutzen. Insbesondere teilen sich die Threads eines Prozesses seinen ausführbaren Code und die Werte seiner dynamisch zugewiesenen Variablen und seiner nicht thread-lokalen globalen Variablen zu einem bestimmten Zeitpunkt.




Darstellung eines Prozesses mit mehreren Tasks https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multithreaded_process.svg, Autor I, Cburnett, GNU Free Documentation License,

| Kriterium | Prozess | Thread |
|---|---|---|
| **Definition** | Eigenständiges Programm in Ausführung | Ausführungsstrang innerhalb eines Prozesses |
| **Adressraum** | Getrennt von anderen Prozessen | Gemeinsamer Adressraum mit anderen Threads desselben Prozesses |
| **Ressourcenteilung** | Ressourcen wie Dateien, Speicher sind nicht automatisch geteilt | Ressourcen wie Dateien, Speicher werden gemeinsam genutzt |
| **Stack und Register** | Hat eigenen Stack und Registersatz | Hat eigenen Stack, aber gemeinsame Datenstruktur |
| **Kommunikation** | Über Interprozesskommunikation (Pipes, Sockets, Shared Memory) | Über gemeinsame Speicherbereiche möglich (direkt, schneller) |
| **Erstellungsaufwand** | Relativ hoch | Gering |
| **Kontextwechsel** | Teurer (mehr Daten müssen gespeichert/geladen werden) | Schneller (weniger Overhead) |
| **Fehlertoleranz** | Stabiler – Fehler in einem Prozess beeinflussen andere nicht | Fehler kann alle Threads im Prozess betreffen |
| **Sicherheit** | Höher – Prozesse sind voneinander isoliert | Geringer – Threads können sich gegenseitig beeinflussen |
| **Synchronisation** | Komplex – durch IPC | Notwendig, aber einfacher – z. B. durch Mutex, Semaphore |
| **Typische Nutzung** | Große, unabhängige Programme oder Module | Leichtgewichtige, parallele Aufgaben im selben Programm |

| | | |
|---|---|---|
| **Beispiel** | Jeder Browser-Tab als eigener Prozess (z. B. Chrome) | Jeder Client-Request im Server als Thread (z. B. Apache, Java-Server) |

# Erfassung der Performance

Wie messen wir aber die Geschwindigkeit eines Programms?

vgl. Projekt im Projektordner unter Nutzung des Pakets

https://www.nuget.org/packages/BenchmarkDotNet

> BenchmarkDotNet funktioniert nur, wenn das Konsolenprojekt mit einer Release-Konfiguration erstellt wurde, d. h. mit angewandten Code-Optimierungen. Die Ausführung in Debug führt zu einem Laufzeitfehler.

## Implementierung unter C#

**ThreadApplicationPrinter**

```
using System;
using System.Threading;

class Printer{
  char ch;
  int sleepTime;

  public Printer(char c, int t){
    ch = c;
    sleepTime = t;
  }

  public void Print(){
    for (int i = 0; i<10;  i++){
      Console.Write(ch);
      Thread.Sleep(sleepTime);
    }
  }
}

class Program {
    public static void Main(string[] args){
        Printer a = new Printer ('a', 10);
        Printer b = new Printer ('b', 50);
        Printer c = new Printer ('c', 70);

        var watch = System.Diagnostics.Stopwatch.StartNew();
        a.Print();
        b.Print();
        c.Print();
        watch.Stop();
        Console.WriteLine("\nDuration in ms: {0}", watch
          .ElapsedMilliseconds);

        watch.Restart();
        Thread PrinterA = new Thread(new ThreadStart(a.Print));
        Thread PrinterB = new Thread(new ThreadStart(b.Print));
        PrinterA.Start();
        PrinterB.Start();
        c.Print();   // Ausführung im Main-Thread
        watch.Stop();
        Console.WriteLine("\nDuration in ms: {0}", watch
          .ElapsedMilliseconds);
    }
}
```

```
aaaaaaaaaaaaaaabaaaaabbbbbbbbbbbbbbbbbbcbccccccccccccccccccc
Duration in ms: 1353
cabaaaaba
Duration in ms: 1368
cabaaaacaaaabbaacaaacbbcbbcbbccbbcbbccbbcbbccbccccc
Duration in ms: 707

Duration in ms: 710
```

Die Implementierung der Klasse Thread unter C# umfasst dabei folgende Definitionen:

**ThreadClass**

```
public delegate void ThreadStart();
public delegate void ParameterizedThreadStart(object? obj);
public enum ThreadPriority (Lowest = 0, BelowNormal = 1, Normal = 2, AboveN
  = 3, Highest = 4);
public enum ThreadState (Running = 0, Unstarted = 8, Stopped = 16, Suspende
  , Aborted = 256, ...);

public sealed class Thread{
  public Thread (ThreadStart start);
  public Thread (ParameterizedThreadStart start);
  public Thread (ThreadStart start, int maxStackSize);
  public Thread (ParameterizedThreadStart start, int maxStackSize);
  ...
  public string Name {get; set;};
  public ThreadPriority Priority {get; set;};
  public ThreadState ThreadState {get;};
  public bool IsAlive {get;};
  public bool IsBackground{get;};
  public void Start();
  public void Join();
  public void Interrupt();
  public static void Sleep(int milliseconds);
  public static bool Yield ();
}
```

**ThreadBasicExample**

```
using System;
using System.Threading;

class Program
{
    public static void Main(string[] args)
    {
        Console.WriteLine("**********Current Thread Informations
          ***************\n");
        Thread t = Thread.CurrentThread;
        t.Name = "Primary_Thread";
        Console.WriteLine("Thread Name: {0}", t.Name);
        Console.WriteLine("Thread Status: {0}", t.ThreadState);
        Console.WriteLine("Priority: {0}", t.Priority);
        Console.WriteLine("Current application domain: {0}",Thread
          .GetDomain().FriendlyName);
    }
}
```

```
**********Current Thread Informations***************

Thread Name: Primary_Thread
Thread Status: Running
Priority: Normal
Current application domain: main.exe
**********Current Thread Informations***************

Thread Name: Primary_Thread
Thread Status: Running
Priority: Normal
Current application domain: main.exe
```

## Thread-Initialisierung

Wie wird das Thread-Objekt korrekt initialisiert? Viele Tutorials führen Beispiele auf, die wie folgt strukturiert sind, während im obrigen Beispiel der Konstruktoraufruf von `Thread` einen weiteren Konstruktor `ThreadStart` adressiert:

```
Thread threadA = new Thread(ExecuteA);
threadA.Start();
// vs
Thread threadB = new Thread(new ThreadStart(ExecuteB));
```

**ThreadInit**

```
using System;
using System.Threading;

class Calc
{
    int paramA = 0;
    int paramB = 0;

    public Calc(int paramA, int paramB){
      this.paramA = paramA;
      this.paramB = paramB;
    }

    // Static method
    public static void getConst()
    {
        Console.WriteLine("Static funtion const = {0}", 3.14);
    }

    public void process()
    {
        Console.WriteLine("Result = {0}", paramA + paramB);
    }
}

class Program
{
    static void Main()
    {
        // explizite Übergabe des Delegaten auf statische Methode
        ThreadStart threadDelegate = new ThreadStart(Calc.getConst);
        Thread newThread = new Thread(threadDelegate);
        newThread.Start();

        // impliziter Cast zu ThreadStart (gleicher Delegat)
        newThread = new Thread(Calc.getConst);
        newThread.Start();

        // explizite Übergabe des Delegaten auf Methode
        Calc c = new Calc(5, 6);
        threadDelegate = new ThreadStart(c.process);
        newThread = new Thread(threadDelegate);
        newThread.Start();

        // impliziter Cast zu ThreadStart (gleicher Delegat)
        newThread = new Thread(c.process);
        newThread.Start();
    }
```

```
49  }
```

```
Static funtion const = 3.14
Result = 11
Result = 11
Static funtion const = 3.14
```

Der Konstruktor der Klasse `Thread` hat aber folgende Signatur:

| **Konstruktor** | **Initialisiert eine neue Thread Klasse ...** |
|---|---|
| `Thread(ThreadStart)` | ... auf der Basis einer Instanz von ThreadStart |
| `Thread(ThreadStart, Int32)` | ... auf der Basis einer Instanz von ThreadStart unter Angabe der Größe des Stacks in Byte (aufgerundet auf entsprechende Page Size und unter Berücksichtigung der globalen Mindestgröße) |
| `Thread(ParameterizedThreadStart)` | ... auf der Basis einer Instanz von ParameterizedThreadStart |
| `Thread(ParameterizedThreadStart, Int32)` | ... auf der Basis einer Instanz von ParameterizedThreadStart unter Angabe der Größe des Stacks |

```
// impliziter Cast zu ParameterizedThreadStart
Thread threadB = new Thread(ExecuteB);
threadB.Start("abc");

// impliziter Cast und unmittelbarer Start
new Thread(SomeMethod).Start();
```

**Aufgabe:** Ergänzen Sie das schon benutzte Beispiel um die Möglichkeit das auszugebene Zeichen als Parameter zu übergeben!

**ThreadApplicationPrinterParameter**

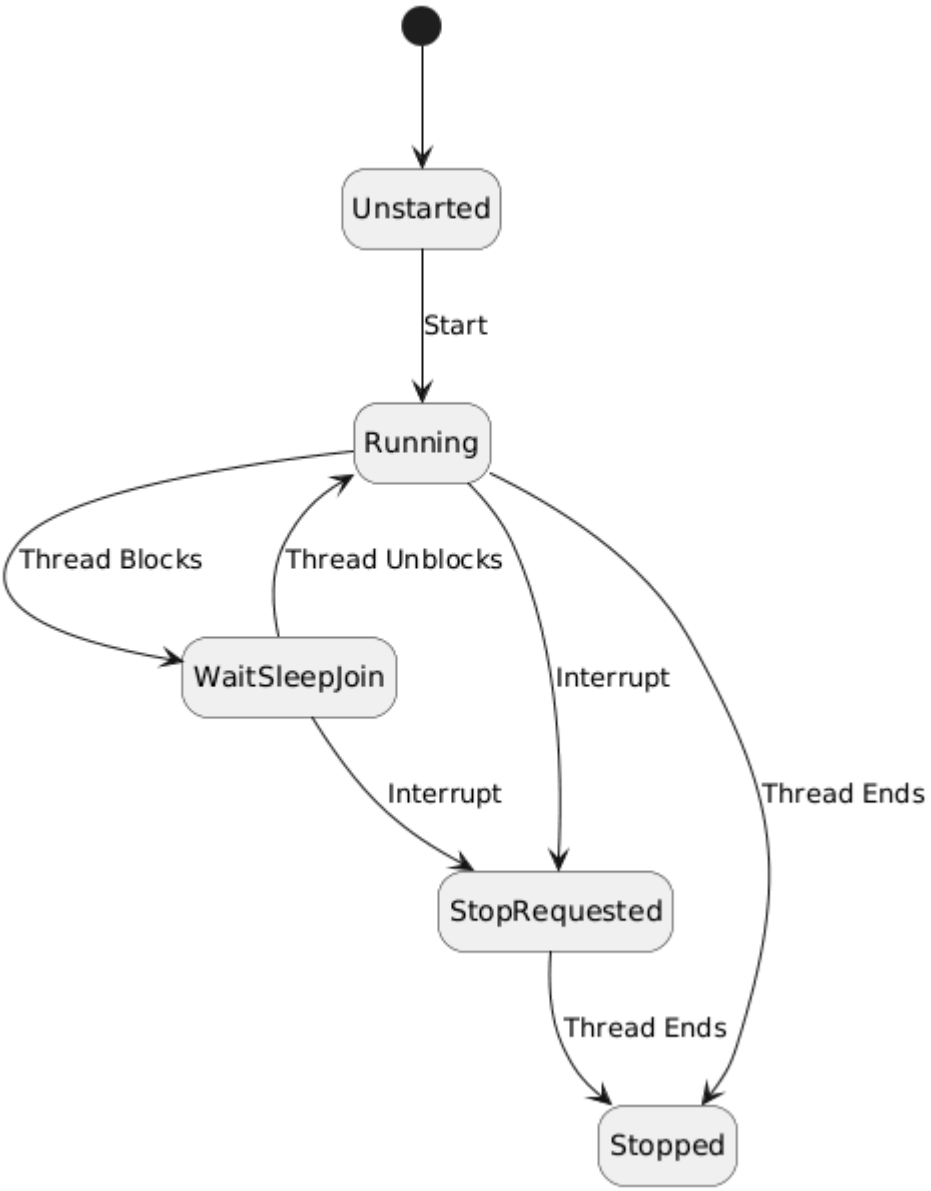
```
using System;
using System.Threading;

class Printer{
  char ch;
  int sleepTime;

  public Printer(char c, int t){
    ch = c;
    sleepTime = t;
  }

  // Unsere Methode soll nun einen Parameter bekommen
  // public void Print(int count){
  // for (int i = 0; i<count;  i++){
  // public void Print(object? count){
  public void Print(object count){
    for (int i = 0; i<(count as int?);  i++){
      Console.Write(ch);
      Thread.Sleep(sleepTime);
    }
  }
}

class Program {
    public static void Main(string[] args){
        Printer a = new Printer ('a', 10);
        //Thread PrinterA = new Thread(new ThreadStart(a.Print));
        //PrinterA.Start();
        Thread PrinterA = new Thread(new ParameterizedThreadStart(a.P
          ));
        PrinterA.Start(5);
    }
}
```

```
aaaaaaaaaa
```

Zur Übergabe von mehreren Parametern können Tupel oder Objekte benutzerdefinierter Klassen verwendet werden.

## Thread-Status

Aus dem Gesamtkonzept des Threads ergeben sich mehrere Zustände, in denen sich dieser befinden kann:


Unstarted
Start
Running
Thread Blocks
Thread Unblocks
WaitSleepJoin
Interrupt
Interrupt
Thread Ends
StopRequested
Thread Ends
Stopped

| Zustand | Bedeutung |
|---|---|
| Unstarted | Thread ist initialisiert |
| Running | Thread befindet sich gerade in der Ausführung |
| WaitSleepJoin | Thread wird wegen eines Sleep oder eines Join-Befehls nicht ausgeführt. Er nutzt keine Prozessorzeit. Oder der Thread wird blockiert, weil er auf eine Ressource wartet, die von einem anderen Thread gehalten wird. |
| StopRequested | Thread wird zum Stoppen aufgefordert. Dies ist nur für den internen Gebrauch bestimmt. |
| Stopped | Bearbeitung beendet |

Jeder Thread umfasst ein Feld vom Typ `ThreadState`, dass auf verschiedenen Ebenen dessen Parameter abbildet. Das Enum ist dabei als Bitfeld konfiguriert (vgl Doku).

```
public static ThreadState DetermineThreadState(this ThreadState ts){
  return ts & (ThreadState.Unstarted |
               ThreadState.Running |
               ThreadState.WaitSleepJoin |
               ThreadState.Stopped);

}
```

## Thread-Serialisierung

Wie lässt sich eine Serialisierung von Threads realisieren? Im Beispiel soll die Ausführung des "Printers C" erst starten, wenn die beiden anderen Druckaufträge abgearbeitet wurden.

| Methode | Bedeutung |
|---|---|
| `t.Join()` | Es wird so lange gewartet, bis der Thread t zum Abschluss gekommen ist. |
| `Thread.Sleep(n)` | Es wird für n Millisekunden gewartet. |
| `Thread.Yield()` | Gibt den erteilten Zugriff auf die CPU sofort zurück. |

**ThreadBasic**

```
1  using System;
2  using System.Threading;
3
4  class Printer{
5    char ch;
6    int sleepTime;
7    public Printer(char c, int t){
8      ch = c;
9      sleepTime = t;
10   }
11   public void Print(){
12     for (int i = 0; i<10;  i++){
13       Console.Write(ch);
14       Thread.Sleep(sleepTime);
15       //Thread.Yield();          // Freiwillige Abgabe an die CPU
16     }
17   }
18 }
19 class Program {
20     public static void Main(string[] args){
21         Printer a = new Printer ('a', 10);
22         Printer b = new Printer ('b', 50);
23         Printer c = new Printer ('c', 5);
24         Thread PrinterA = new Thread(new ThreadStart(a.Print));
25         Thread PrinterB = new Thread(new ThreadStart(b.Print));
26         PrinterA.Start();
27         PrinterB.Start();
28         Thread.Sleep(1000);     // Zeitabhängige Verzögerung des
             Hauptthreads
29         //PrinterA.Join();      // <-
30         //PrinterB.Join();
31         c.Print();
32         Console.Write("Alle Threads beendet!");
33     }
34 }
```

```
abbaaaaaaaabaaaabaabaaaaabbbbbbbbbbbbbbbccccccccccccccccAlle Threads
beendet!ccccAlle Threads beendet!
```

## Datenaustausch zwischen Threads

Jeder Thread realisiert dabei seinen eigenen Speicher, so dass die lokalen Variablen separat abgelegt werden. Die Verwendung der lokalen Variablen ist entsprechend geschützt.

**ThreadEncapsulation**

```
using System;
using System.Threading;

class Program
{
    static void Execute(object output){
      int count = 0;
      for (int i = 0; i<10;  i++){
        Console.WriteLine(output + (count++).ToString());
        Thread.Sleep(10);
      }
    }

    public static void Main(string[] args){
        Thread thread_A = new Thread(Execute);
        thread_A.Start("New Thread 1:     ");
        Thread.Sleep(10);
        new Thread(Execute).Start("New Thread 2:     ");
        Execute("MainTread :");
    }
}
```

```
MainTread :0
New Thread 2:     0
New Thread 1:     0
MainTread :1
New Thread 2:     1
New Thread 1:     1
MainTread :2
New Thread 2:     2
New Thread 1:     2
MainTread :3
New Thread 2:     3
New Thread 1:     3
MainTread :4
New Thread 2:     4
New Thread 1:     4
MainTread :5
New Thread 2:     5
New Thread 1:     5
MainTread :6
New Thread 2:     6
New Thread 1:     6
New Thread 1:     7
New Thread 2:     7
MainTread :7
New Thread 2:     0
New Thread 1:     0
MainTread :0
New Thread 2:     1
New Thread 1:     1
MainTread :1
New Thread 1:     8
New Thread 2:     8
MainTread :8
New Thread 1:     9
New Thread 2:     9
New Thread 2:     2
New Thread 1:     2
MainTread :2
MainTread :9
New Thread 2:     3
New Thread 1:     3
MainTread :3
New Thread 2:     4
```

```
New Thread 1:     4
MainTread :4
New Thread 2:     5
New Thread 1:     5
MainTread :5
New Thread 2:     6
New Thread 1:     6
MainTread :6
New Thread 2:     7
New Thread 1:     7
MainTread :7
New Thread 2:     8
New Thread 1:     8
MainTread :8
New Thread 2:     9
New Thread 1:     9
MainTread :9
```

Auf dem individuellen Stack werden die eigenen Kopien der lokalen Variable `count` angelegt, so dass die beiden Threads keine Interaktion realisieren.

Was aber, wenn ein Datenaustausch realisiert werden soll? Eine Möglichkeit der Interaktion sind entsprechende Felder innerhalb einer gemeinsamen Objektinstanz.

Welches Problem ergibt sich aber dabei?

**ThreadStaticVariable**

```
1  using System;
2  using System.Threading;
3
4  class InteractiveThreads
5  {
6    // Gemeinsames Member der Klasse
7    //[ThreadStatic] // <- gemeinsames Member innerhalb nur eines Threa
       nur auf static anwendbar
8    public static int count = 0;
9
10   public void AddOne(){
11     count++;
12     Console.WriteLine("Nachher {0}", count);
13   }
14 }
15
16 class Program
17 {
18     public static void Main(string[] args){
19         InteractiveThreads myThreads = new InteractiveThreads();
20         for (int i = 0; i<100; i++){
21           new Thread(myThreads.AddOne).Start();
22         }
23         Thread.Sleep(10000);
24         Console.WriteLine("\n Fertig {0}", InteractiveThreads.count);
25     }
26 }
```

```
Nachher 7
Nachher 4
Nachher 1
Nachher 5
Nachher 3
Nachher 2
Nachher 8
Nachher 9
Nachher 12
Nachher 19
Nachher 22
Nachher 33
Nachher 51
Nachher 52
Nachher 53
Nachher 54
Nachher 55
Nachher 56
Nachher 57
Nachher 58
Nachher 59
Nachher 61
Nachher 60
Nachher 62
Nachher 63
Nachher 64
Nachher 65
Nachher 10
Nachher 66
Nachher 11
Nachher 67
Nachher 13
Nachher 68
Nachher 14
Nachher 69
Nachher 15
Nachher 70
Nachher 71
Nachher 16
Nachher 17
Nachher 73
Nachher 74
Nachher 18
```

```
Nachher 75
Nachher 20
Nachher 76
Nachher 21
Nachher 77
Nachher 23
Nachher 78
Nachher 24
Nachher 79
Nachher 25
Nachher 80
Nachher 26
Nachher 81
Nachher 27
Nachher 82
Nachher 28
Nachher 83
Nachher 84
Nachher 29
Nachher 85
Nachher 30
Nachher 86
Nachher 31
Nachher 87
Nachher 32
Nachher 88
Nachher 34
Nachher 89
Nachher 35
Nachher 90
Nachher 36
Nachher 91
Nachher 37
Nachher 92
Nachher 93
Nachher 38
Nachher 94
Nachher 39
Nachher 95
Nachher 40
Nachher 96
Nachher 41
Nachher 97
```

```
Nachher 42
Nachher 98
Nachher 46
Nachher 99
Nachher 6
Nachher 100
Nachher 43
Nachher 44
Nachher 45
Nachher 47
Nachher 48
Nachher 49
Nachher 50
Nachher 72
Nachher 24
Nachher 13
Nachher 39
Nachher 48
Nachher 26
Nachher 25
Nachher 29
Nachher 30
Nachher 31
Nachher 32
Nachher 33
Nachher 34
Nachher 3
Nachher 2
Nachher 1
Nachher 4
Nachher 43
Nachher 35
Nachher 28
Nachher 27
Nachher 5
Nachher 6
Nachher 7
Nachher 8
Nachher 9
Nachher 10
Nachher 11
Nachher 12
Nachher 14
```

```
Nachher 15
Nachher 16
Nachher 17
Nachher 18
Nachher 19
Nachher 20
Nachher 21
Nachher 22
Nachher 23
Nachher 40
Nachher 41
Nachher 38
Nachher 37
Nachher 36
Nachher 44
Nachher 45
Nachher 46
Nachher 47
Nachher 42
Nachher 49
Nachher 50
Nachher 51
Nachher 52
Nachher 53
Nachher 54
Nachher 55
Nachher 56
Nachher 57
Nachher 58
Nachher 59
Nachher 60
Nachher 61
Nachher 62
Nachher 63
Nachher 64
Nachher 65
Nachher 66
Nachher 67
Nachher 68
Nachher 69
Nachher 70
Nachher 71
Nachher 72
```

```
Nachher 73
Nachher 74
Nachher 75
Nachher 76
Nachher 77
Nachher 78
Nachher 79
Nachher 80
Nachher 81
Nachher 82
Nachher 83
Nachher 85
Nachher 84
Nachher 86
Nachher 87
Nachher 88
Nachher 89
Nachher 90
Nachher 91
Nachher 92
Nachher 93
Nachher 94
Nachher 95
Nachher 96
Nachher 97
Nachher 98
Nachher 99
Nachher 100

 Fertig 100

 Fertig 100
```

Ein Word zum Attribute `[ThreadStatic]` ... Warum das Ganze?

| **Kriterium** | **Lokale Variable** | `[ThreadStatic]` |
|---|---|---|
| Sichtbarkeit | Nur innerhalb der Methode | Innerhalb der ganzen Klasse |
| Lebensdauer | Pro Methodenausführung | So lange wie der Thread lebt |
| Automatisch thread-sicher? | Ja (liegt auf dem Stack) | Ja (jede Thread hat eigene Kopie) |
| Geeignet für Wiederverwendung | Nein | Ja (z. B. Objektpools) |
| Initialisierung möglich? | Ja | Nein (muss manuell gemacht werden) |

**ThreadMemberVariable**

```
using System;
using System.Threading;

class Calc
{
    int paramA = 0;
    public void Inc()
    {
        paramA = paramA + 1;
        Console.WriteLine("Static funtion const = {0}", paramA);
    }
}

class Program
{
    public static void Main(string[] args){
        Calc c = new Calc();

        // Beide nachfolgende Thread teilen sich ein Objekt c, so das
        // die Variable paramA von beiden Threads gemeinsam genutzt w
        // Das bedeutet, dass die Variable nicht thread-sicher ist!

        ThreadStart delThreadA = new ThreadStart(c.Inc);
        Thread newThread_A = new Thread(delThreadA);
        newThread_A.Start();

        ThreadStart delThreadB = new ThreadStart(c.Inc);
        Thread newThread_B = new Thread(delThreadB);
        newThread_B.Start();
    }
}
```

```
Static funtion const = 2
Static funtion const = 1
Static funtion const = 2
Static funtion const = 1
```

Thread-spezifische Daten in nicht-statischen Kontexten können in `ThreadLocal<T>` oder `AsyncLocal<T>` verwaltet werden.

```
private ThreadLocal<int> threadSpecificData = new ThreadLocal<int>(() => 0)

void ThreadMethod(int initialValue)
{
  threadSpecificData.Value = initialValue;
  //...
```

```
  threadSpecificData.Value++;
  //...
}
```

## Locking

Locking und Threadsicherheit sind zentrale Herausforderungen bei der Arbeit mit Multithread-Anwendungen. Wie können wir im vorhergehenden Beispiel sicherstellen, dass zwischen dem Laden von threadcount in ein Register, der Inkrementierung und dem Zurückschreiben nicht ein anderer Thread den Wert zwischenzeitlich manipuliert hat?

Für eine binäre Variable wird dabei von einem Test-And-Set Mechanisms gesprochen der Thread-sicher sein muss. Wie können wir dies erreichen? Die Prüfung und Manipulation muss atomar ausgeführt werden, dass heißt an dieser Stelle darf der ausführende Thread nicht verdrängt werden.

Darauf aufbauend implementiert C# verschiedene Methoden:

| **Threadsicherheit** | **Bemerkung** |
|---|---|
| "exclusive lock" | Alleiniger Zugriff auf einen Codeabschnitt |
| Monitor | Erweiterter `lock` mit Bedingungsvariablen (`Wait`, `Pulse`, `PulseAll`) zum Warten und Signalisieren von Zustandsänderungen, synchronisierende Zugriffsprozeduren |
| Mutex (Mutual Exclusion) | Prozessübergreifende exklusive (binäre) Sperrung |
| Semaphor | Zugriff auf einen Codeabschnitt durch n Threads oder Prozesse, basierend auf einem Zählermechanismus |

```
static readonly object locker = new object();

lock(locker){
  // kritische Region
}
```

**lock.cs**

```
using System;
using System.Threading;

class Program
{
    static int counter = 0;
    static readonly object lockObj = new object();

    static void Main()
    {
        Thread[] threads = new Thread[10];

        for (int i = 0; i < threads.Length; i++)
        {
            threads[i] = new Thread(Increment);
            threads[i].Start();
        }

        foreach (var t in threads)
            t.Join();

        Console.WriteLine($"Endwert (mit lock): {counter}");
    }

    static void Increment()
    {
        for (int i = 0; i < 10000; i++)
        {
            lock (lockObj)
            {
                counter++;
            }
        }
    }
}
```

```
Endwert (mit lock): 100000
```

`lock` ist eine syntaktische Abkürzung für die Verwendung des `Monitor`-Objekts. Es stellt sicher, dass nur ein Thread gleichzeitig auf den geschützten Codeabschnitt zugreifen kann.

## Hintergrund und Vordergrund-Threads

Threads können als Hintergrund- oder Vordergrundthread definiert sein. Hintergrundthreads unterscheiden sich von Vordergrundthreads durch die Beibehaltung der Ausführungsumgebung nach dem Abschluss. Sobald alle Vordergrundthreads in einem verwalteten Prozess (wobei die EXE-Datei eine verwaltete Assembly ist) beendet sind, beendet das System alle Hintergrundthreads.

**BackgroundThreads**

```
using System;
using System.Threading;

class Printer{
  char ch;
  int sleepTime;

  public Printer(char c, int t){
    ch = c;
    sleepTime = t;
  }

  public void Print(){
    for (int i = 0; i<10;  i++){
      Console.Write(ch);
      Thread.Sleep(sleepTime);
    }
  }
}

class Program {
    public static void printThreadProperties(Thread currentThread){
      Console.WriteLine("{0} - {1} - {2}", currentThread.Name,
                                           currentThread.Priority,
                                           currentThread.IsBackground
    }

    public static void Main(string[] args){
        Thread MainThread = Thread.CurrentThread;
        MainThread.Name = "MainThread";
        printThreadProperties(MainThread);
        Printer a = new Printer ('a', 10);
        Printer b = new Printer ('b', 50);
        Printer c = new Printer ('c', 1);
        Thread PrinterA = new Thread(new ThreadStart(a.Print));
        PrinterA.IsBackground = false;
        Thread PrinterB = new Thread(new ThreadStart(b.Print));
        PrinterB.IsBackground = false;
        printThreadProperties(PrinterA);
        printThreadProperties(PrinterB);
        PrinterA.Start();
        PrinterB.Start();
        c.Print();
    }
}
```

```
MainThread - Normal - False
 - Normal - False
 - Normal - False
MainThread - Normal - False
 - Normal - False
 - Normal - False
abccccccccccacabccccccccaccaaaaabaaabaaaaaaabababbbbbbbbbbbbbbb
```

Wie verhält sich das Programm, wenn Sie `Printer_.IsBackground = true;` einfügen?

Threads, die explizit mit der Thread-Klasse erstellt werden, sind standardmäßig Vordergrund-Threads.

## Ausnahmebehandlung mit Threads

Ab .NET Framework, Version 2.0, erlaubt die CLR bei den meisten Ausnahmefehlern in Threads deren ordnungsgemäße Fortsetzung. Allerdings ist zu beachten, dass die Fehlerbehandlung innerhalb des Threads zu erfolgen hat. Unbehandelte Ausnahmen auf der Thread-Ebene führen in der Regel zum Abbruch des gesamten Programms.

Verschieben Sie die Fehlerbehandlung in den Thread!

**ExceptionHandling**

```
1  using System;
2  using System.Threading;
3
4  class Program {
5    public static void Calculate(object value){ //object? value
6      Console.WriteLine(5 / (int)value);        //(int?)value
7    }
8
9    public static void Main(string[] args){
10     Thread myThread = new Thread (Calculate);
11     try{
12       myThread.Start(0);
13     }
14     catch(DivideByZeroException)
15     {
16       Console.WriteLine("Achtung - Division durch Null");
17     }
18   }
19 }
```

```
Unhandled Exception:
System.DivideByZeroException: Attempted to divide by zero.
  at Program.Calculate (System.Object value) [0x00000] in
<f96f83c5382a42e6983c5d8da4303a0c>:0
  at System.Threading.ThreadHelper.ThreadStart_Context (System.Object
state) [0x0002c] in <12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ExecutionContext.RunInternal
(System.Threading.ExecutionContext executionContext,
System.Threading.ContextCallback callback, System.Object state,
System.Boolean preserveSyncCtx) [0x0008d] in
<12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ExecutionContext.Run
(System.Threading.ExecutionContext executionContext,
System.Threading.ContextCallback callback, System.Object state,
System.Boolean preserveSyncCtx) [0x00000] in
<12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ExecutionContext.Run
(System.Threading.ExecutionContext executionContext,
System.Threading.ContextCallback callback, System.Object state)
[0x00031] in <12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ThreadHelper.ThreadStart (System.Object obj)
[0x00012] in <12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
[ERROR] FATAL UNHANDLED EXCEPTION: System.DivideByZeroException:
Attempted to divide by zero.
  at Program.Calculate (System.Object value) [0x00000] in
<f96f83c5382a42e6983c5d8da4303a0c>:0
  at System.Threading.ThreadHelper.ThreadStart_Context (System.Object
state) [0x0002c] in <12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ExecutionContext.RunInternal
(System.Threading.ExecutionContext executionContext,
System.Threading.ContextCallback callback, System.Object state,
System.Boolean preserveSyncCtx) [0x0008d] in
<12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ExecutionContext.Run
(System.Threading.ExecutionContext executionContext,
System.Threading.ContextCallback callback, System.Object state,
System.Boolean preserveSyncCtx) [0x00000] in
<12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ExecutionContext.Run
(System.Threading.ExecutionContext executionContext,
System.Threading.ContextCallback callback, System.Object state)
```

```
[0x00031] in <12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
  at System.Threading.ThreadHelper.ThreadStart (System.Object obj)
[0x00012] in <12b418a7818c4ca0893feeaaf67f1e7f>:0
```

Analog kann das Abbrechen eines Threads als Ausnahme erkannt und in einer Behandlungsroutine organsiert werden.

**ThreadBasic**

```
using System;
using System.Threading;

class Program {
  static void Operate(){
        try{
          while (true){
            Thread.Sleep(1000);
            Console.WriteLine("Thread - Ausgabe");
          }
        }
        catch (ThreadInterruptedException){
          Console.WriteLine("Thread interrupted");
        }
  }

  public static void Main(string[] args){
    Thread myThread = new Thread (Operate);
    myThread.Start();
    Thread.Sleep(3000);
    myThread.Interrupt();   // <- Abbruch des Threads
    Console.WriteLine("fertig");
  }
}
```

```
Thread - Ausgabe
Thread - Ausgabe
Thread - Ausgabe
Thread - Ausgabe
fertig
Thread interrupted
fertig
Thread interrupted
```

## Unterschiede für die Thread-Implementierung

| Aspekt | C# (Delegat `ThreadStart`) | Java/C++ (Vererbung von `Thread`) |
| --- | --- | --- |
| Grundidee | Delegation: Eine Methode wird als Parameter übergeben. | Vererbung: Die Funktionalität wird durch eine Subklasse definiert. |
| Thread-Logik | Beliebige Methode mit passender Signatur kann als Thread-Startpunkt verwendet werden. | Die `run()`-Methode muss in der abgeleiteten Klasse überschrieben werden. |

**Csharp.cs**

```
Thread t = new Thread(() => Console.WriteLine("Hello from thread!"));
t.Start();
```

**Java.java**

```
class MyThread extends Thread {
    public void run() {
        System.out.println("Hello from thread!");
    }
}
new MyThread().start();
```

| Kriterium | C# Delegat | Java Vererbung |
| --- | --- | --- |
| Flexibilität | ⭐⭐⭐⭐ | ⭐⭐ |
| OOP-Konsistenz | ⭐⭐ | ⭐⭐⭐⭐ |
| Moderne Best Practices | Besser mit Lambdas oder `Task` | Besser mit `Runnable` |
| Geeignet für komplexe Logik | Sehr gut | Eingeschränkt durch Vererbung |

| Sprache | Typischer Ansatz | Beschreibung |
| --- | --- | --- |
| **C#** | Delegat (`ThreadStart`) | Delegat oder Lambda für Startmethode, keine Vererbung notwendig |
| **Java** | `Thread`-Vererbung oder `Runnable` | Entweder durch Vererbung oder durch Übergabe eines `Runnable`-Objekts |
| **Python** | `threading.Thread` mit Vererbung **oder** Übergabe eines Callables | Sehr flexibel: beides möglich |
| **C++** | `std::thread` mit Funktionsobjekten, Lambdas oder Funktionen | Keine Vererbung, stattdessen Templates und generische Callable-Objekte |

## Thread-Pool

Wann immer ein neuer Thread gestartet wird, bedarf es einiger 100 Millisekunden, um Speicher anzufordern, ihn zu initialisieren, usw. Diese relativ aufwändige Verfahren wird durch die Nutzung von ThreadPools beschränkt, da diese als wiederverwendbare Threads vorgesehen sind.

Die `System.Threading.ThreadPool`-Klasse stellt einer Anwendung einen Pool von "Arbeitsthreads" bereit, die vom System verwaltet werden und Ihnen die Möglichkeit bieten, sich mehr auf Anwendungsaufgaben als auf die Threadverwaltung zu konzentrieren.

**ThreadPool**

```
using System;
using System.Threading;

class Program
{
    static void Main(string[] args)
    {
        // ThreadPool konfigurieren
        ThreadPool.SetMinThreads(4, 4);   // Warum geben wir hier meh
          Parameter an?
        ThreadPool.SetMaxThreads(8, 8);

        Console.WriteLine("Starte mehrere Aufgaben im ThreadPool...")

        // Kommentar 2:
        int taskCount = 5;
        CountdownEvent countdown = new CountdownEvent(taskCount);

        for (int i = 0; i < taskCount; i++)
        {
            // Kommentar 1:
            // Schleifenvariable in lokale Variable kopieren sonst
              "Gefangene Schleifenvariable" (Closure)
            int taskNum = i;

            // Lambda-Ausdruck
            ThreadPool.QueueUserWorkItem(state =>
            {
                Console.WriteLine($"[Task {taskNum}] gestartet auf Th
                  {Thread.CurrentThread.ManagedThreadId}");
                ThreadPool.GetAvailableThreads(out int worker, out in
                  );
                Console.WriteLine($"Noch frei: {worker} WorkerThreads
                  {iocp} IOCP-Threads");

                // Simulierte Arbeit
                Thread.Sleep(500);

                Console.WriteLine($"[Task {taskNum}] beendet");
                countdown.Signal();
            });
        }

        // Zeige verfügbare Threads im Pool
        ThreadPool.GetAvailableThreads(out int workerThreads, out int
          completionPortThreads);
        Console.WriteLine($"Verfügbare WorkerThreads: {workerThreads}
        Console.WriteLine($"Verfügbare CompletionPortThreads:
```

```
            {completionPortThreads}");
43
44          // Warten, bis Threads ihre Arbeit tun können
45          Console.WriteLine("Main-Thread wartet auf Aufgaben...");
46          Thread.Sleep(2000); // grobes Warten - kein sauberes
              Synchronisieren !!!
47          //countdown.Wait(); // wartet, bis alle Tasks fertig
48          Console.WriteLine("Main-Thread beendet sich.");
49      }
50  }
```

```
Starte mehrere Aufgaben im ThreadPool...
Verfügbare WorkerThreads: 3
Verfügbare CompletionPortThreads: 8
Main-Thread wartet auf Aufgaben...
[Task 2] gestartet auf Thread 4
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 3] gestartet auf Thread 7
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 4] gestartet auf Thread 6
[Task 0] gestartet auf Thread 5
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 1] gestartet auf Thread 8
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
Starte mehrere Aufgaben im ThreadPool...
Verfügbare WorkerThreads: 3
Verfügbare CompletionPortThreads: 8
Main-Thread wartet auf Aufgaben...
[Task 2] gestartet auf Thread 6
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 0] gestartet auf Thread 4
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 1] gestartet auf Thread 5
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 3] gestartet auf Thread 7
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 4] gestartet auf Thread 8
Noch frei: 3 WorkerThreads, 8 IOCP-Threads
[Task 4] beendet
[Task 3] beendet
[Task 0] beendet
[Task 2] beendet
[Task 1] beendet
[Task 1] beendet
[Task 0] beendet
[Task 4] beendet
[Task 2] beendet
[Task 3] beendet
Main-Thread beendet sich.
Main-Thread beendet sich.
```

Das klingt sehr praktisch, was aber sind die Einschränkungen?

- Für die Threads können keine Namen vergeben werden, damit wird das Debugging ggf. schwieriger.
- Pooled Threads sind immer Background-Threads
- Sie können keine individuellen Prioritäten festlegen.
- Blockierte Threads im Pool senken die entsprechende Performance des Pools

> Wie weit kann ich mit Blick auf die Reihung eingreifen?

Noch mal zur Abgrenzung ...

**StartProcess.cs**

```
using System;
using System.Diagnostics;

class Program {
    static void Main() {
        Process.Start("notepad.exe");  // Öffnet den Windows-Editor
    }
}
```

... und was bedeutet das?

| Ebene | Wer steuert? | Beschreibung |
|---|---|---|
| Prozess | Betriebssystem | CLR läuft in einem OS-Prozess |
| Native Thread | Betriebssystem | `Thread`-Objekte in C# sind OS-Threads |
| ThreadPool | CLR + Betriebssystem | CLR entscheidet über Ausführung im Pool; OS entscheidet über Hardware-Zuteilung |