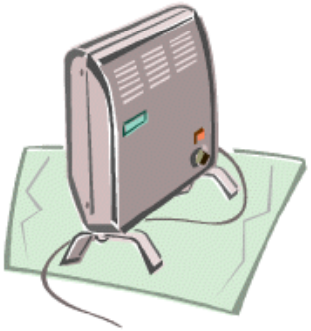
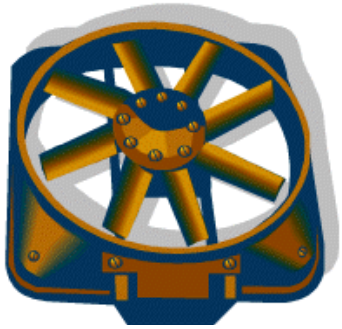
Beispiel: Einfache Temperaturregelung





Beschreibung Beispiel

- Ziel: Regelung der Temperatur (Betriebstemperatur 5-40 Grad Celsius) mittels eines sehr einfachen Reglers.
- Ansatz:
  - Nähert sich die Temperatur einem der Grenzwerte, so wird der Lüfter bzw. die Heizung (Normalstufe) eingeschaltet.
  - Verbleibt der Wert dennoch im Grenzbereich, so wird auf die höchste Stufe geschaltet.
  - Ist der Wert wieder im Normalbereich, so wird (zur Vereinfachung) der Lüfter bzw. die Heizung wieder ausgeschaltet.
  - Wird die Betriebstemperatur über- bzw. unterschritten, so wird ein Abbruchssignal geschickt.

Esterel Code für Temperatur-Regelung (Auszug)

```
module TemperatureControler:
input TEMP: integer, SAMPLE_TIME, DELTA_T;
output HEATER_ON, HEATER_ON_STRONG,
       HEATER_OFF,VENTILATOR_ON, VENTILATOR_OFF,
       VENTILATOR_ON_STRONG, SIG_ABORT;

relation SAMPLE_TIME => TEMP;

  signal COLD, NORMAL, HOT in
    every SAMPLE_TIME do
      await immediate TEMP;
      if  ?TEMP<5 or ?TEMP>40 then emit SIG_ABORT
      elseif ?TEMP>=35 then emit HOT
      elseif ?TEMP<=10 then emit COLD
      else emit NORMAL
      end if
    end every
    ||
    loop
        await
          case COLD do
            emit HEATER_ON;
            abort
              await NORMAL;
              emit HEATER_OFF;
            when DELTA_T do
              emit HEATER_ON_STRONG;
              await NORMAL;
              emit HEATER_OFF;
            end abort
          case HOT do
              %...
        end await
    end loop
  end signal
end module
```

Esterel-Konstrukt: Module

- **Module** definieren in Esterel (wiederverwendbaren) Code. Module haben ähnlich wie Unterprogramme ihre eigenen Daten und ihr eigenes Verhalten.
- Allerdings werden Module nicht aufgerufen, vielmehr findet eine Ersetzung des Aufrufs durch den Modulcode zur Übersetzungszeit statt (Inlining).
- Globale Variable werden nicht unterstützt. Ebenso sind rekursive Moduldefinitionen nicht erlaubt.
- Syntax:

```
%this is a line comment
module module-name:
declarations and compiler directives
%signals, local variables etc.
body
end module % end of module body
```

Esterel-Konstrukt: Parallele Komposition

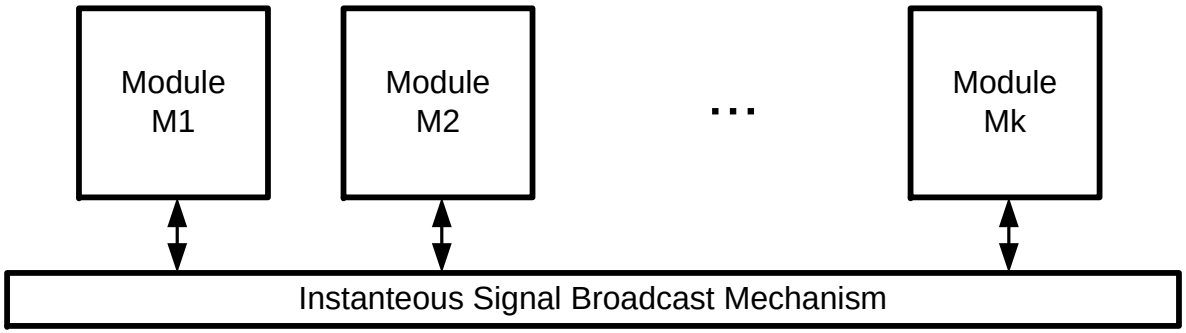
- Zur parallelen Komposition stellt Esterel den Operator || zur Verfügung. Sind P1 und P2 zwei Esterel-Programme, so ist auch P1||P2 ein Esterel-Programm mit folgenden Eigenschaften:
  - Alle Eingabeereignisse stehen sowohl P1 als auch P2 zur Verfügung.
  - Jede Ausgabe von P1 (oder P2) ist im gleichen Moment für P2 (oder P1) sichtbar.
  - Sowohl P1 als auch P2 werden parallel ausgeführt und die Anweisung P1||P2 endet erst, wenn beide Programme beendet sind.
  - Es können keine Daten oder Variablen von P1 und P2 gemeinsam genutzt werden.
- Zur graphischen Modellierung stehen parallele Teilautomaten zur Verfügung.

Signale

- Zur Kommunikation zwischen Komponenten (Modulen) werden Signale eingeführt. Signale sind eine logische Einheit zum Informationsaustausch und zur Interaktion.
- Die *Deklaration* eines Signals erfolgt am Beginn des Moduls. Der Signalname wird dabei typischerweise in Großbuchstaben geschrieben. Zudem muss der Signaltyp festgelegt werden.
- Esterel stellt verschiedene Signale zur Verfügung. Die Klassifikation erfolgt nach:
  - Sichtbarkeit: Schnittstellen (interface) Signale vs. lokale Signale
  - Enthaltener Information: pure Signale vs. wertbehaftete Signale (typisiert)
  - Zugreifbarkeit der Schnittstellensignale: Eingabe (input), Ausgabe(output), Ein- und Ausgabe (inputoutput), Sensor (Signal, das immer verfügbar ist und das nur über den Wert zugreifbar ist)

Esterel-Konstrukt: Broadcast-Mechanismus

- **Versand**: Der Versand von Signalen durch die `emit` Anweisung (terminiert sofort) erfolgt über einen Broadcast-Mechanismus, d.h. Signale sind immer sofort für alle anderen Module verfügbar.
  Die `sustain` Anweisung erzeugt in jeder Runde das entsprechende Signal und terminiert nicht.
- **Zugriff**: Prozesse können per `await` auf Signale warten oder prüfen, ob ein Signal momentan vorhanden ist (`if`). Auf den Wert eines wertbehafteten Signals kann mittels des Zugriffsoperator ? zugegriffen werden.



Esterel-Konstrukt: Ereignisse (Events)

- **Ereignisse** setzen sich zu einem bestimmten Zeitpunkt (**instant**) aus den Eingabesignalen aus der Umwelt und den Signalen, die durch das System als Reaktion ausgesendet werden, zusammen.
- Esterel-Programme können nicht direkt auf das ehemalige oder zukünftige Auftreten von Signalen zurückgreifen. Auch kann nicht auf einen ehemaligen oder zukünftigen Moment zugegriffen werden.
- Einzige Ausnahme ist der Zugriff auf den letzten Moment. Durch den Operator `pre` kann das Auftreten in der vorherigen Runde überprüft werden.

Beziehungen (relations)

- Der Esterel-Compiler erzeugt aus der Esterel-Datei einen endlichen Automaten. Hierzu müssen für jeden Zustand (Block) sämtliche Signalkombinationen getestet werden.
- Um bei der automatischen Generierung des endlichen Automaten des Systems die Größe zu reduzieren, können über die `relation` Anweisung Einschränkungen in Bezug auf die Signale spezifiziert werden:
- `relation Master-signal-name => Slave-signal-name;`

  Bei jedem Auftreten des Mastersignals muss auch das Slave-Signal verfügbar sein.
- `relation Signal-name-1 # Signal-name-2 # ... # Signal-name-n;`

  In jedem Moment darf maximal eines der spezifizierten Signale Signal-name-1, Signal-name-2 ,..., Signal-name-n präsent sein.

Zeitdauer

- Die Zeitachse wird in Esterel in diskrete Momente (**instants**) aufgeteilt. Über die Granularität wird dabei in Esterel keine Aussage getroffen.
- Zur deterministischen Vorhersage des zeitlichen Ablaufes von Programmen wird jede Anweisung in Esterel mit einer genauen Definition der Ausführungszeitdauer verknüpft.
- So terminiert beispielsweise `emit` sofort, während `await` so viel Zeit benötigt, bis das assoziierte Signal verfügbar ist.
- Auf den folgenden Folien werden die wichtigsten Konstrukte erläutert.

Esterel-Konstrukt: await Anweisung

```
await
    case Occurence-1 do Body-1
    case Occurence-2 do Body-2
    ...
    case Occurence-n do Body-n
end await;
```

- Mit Hilfe dieser Anweisung wird auf das Eintreten einer Bedingung gewartet. Im Falle eines Auftretens wird der assoziierte Code gestartet. Werden in einem Moment mehrere Bedingungen wahr, entscheidet die textuelle Reihenfolge. So kann eine deterministische Ausführung garantiert werden.

Esterel-Konstrukt: Unendliche Schleife (infinite loop)

```
loop Body end loop;
```

- Mit Hilfe dieser Anweisung wird ein Stück Code Body endlos ausgeführt. Sobald eine Ausführung des Codes beendet wird, wird der Code wieder neu gestartet.
- **Bedingung**: die Ausführung des Codes darf nicht im gleichen Moment, indem sie gestartet wurde, terminieren.

Esterel-Konstrukt: abort

- Zur einfacheren Modellierung können Abbruchbedingungen nicht nur durch Zustandsübergänge, sondern auch direkt mit Makrozuständen verbunden werden.
- Dabei wird zwischen zwei Arten des Abbruches unterschieden:
  - weak abort: die in der Runde vorhandenen Signale werden noch verarbeitet, danach jedoch der Abbruch vollzogen
  - strong abort: der Abbruch wird sofort vollzogen, eventuell vorhandene Signale ignoriert.
- In der Sprache Esterel wird eine Abbruchbedingung durch das Konstrukt
  `abort Body when Exit_Condition`
  bzw.
  `abort Body when immediate Exit_Condition`
  ausgedrückt.

Esterel-Konstrukt: Lokale und wertbehaftete Signale

```
signal Signal-decl-1,Signal-decl-
2,...,Signal-decl-n in
    Body
end;
```

- Durch diese Anweisung werden lokale Signale erzeugt, die nur innerhalb des mit Body bezeichneten Code verfügbar sind.

```
Signal-name: Signal-type
```

- Der Typ eines wertbehaften Signals kann durch diese Konstruktion spezifiziert werden.

Esterel-Konstrukt: every Anweisung

- Mit Hilfe der `every` Anweisung kann ein periodisches Wiederstarten implementiert werden.
- Syntax:

```
every Occurence do
    Body
end every
```

- Semantik: Jedes Mal falls die Bedingung `Occurence` erfüllt ist, wird der Code Body gestartet. Falls die nächste Bedingung `Occurence` vor der Beendigung der Ausführung von Body auftritt, wird die aktuelle Ausführung sofort beendet und eine neue Ausführung gestartet.
- Es ist auch möglich eine Aktion in jedem Moment zu starten:

```
every Tick do
    Body
end every;
```

Esterel-Konstrukt: if Anweisung in Bezug auf Signale

- Durch Verwendung der if- Anweisung kann auch die Existenz eines Signals geprüft werden.
- **Syntax**:

```
if Signal-Name then
    Body-1
else
    Body-2
```

- **Semantik**: Bei Start dieser Anweisung wird geprüft, ob das Signal `Signal-Name` verfügbar ist. Ist es verfügbar, so wird der Code von `Body-1` ausgeführt, anderenfalls von Body-2. Innerhalb der Anweisung `if` kann auch entweder der `then Body-1` oder der `else Body-2`-Teil weggelassen werden.