

# Verlässliche Echtzeitsysteme

## Übungen zur Vorlesung

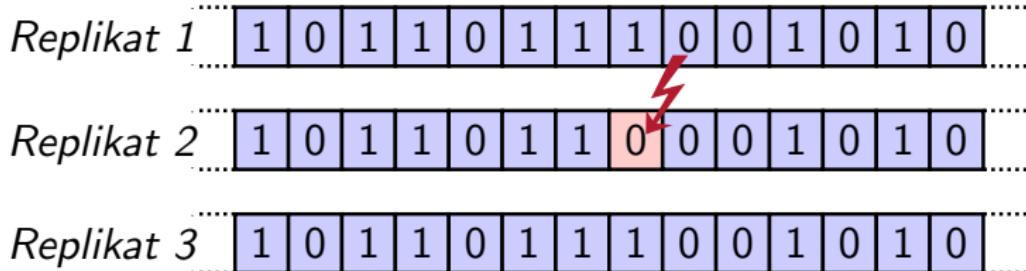
### Aufgabe 3: TMR

Phillip Raffeck, Simon Schuster, Peter Wägemann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)  
<https://www4.cs.fau.de>

Wintersemester 2021





- Wie viele **Replikate** benötigt man zur Fehlermaskierung?
- Arten des Fehlverhaltens (von  $n$  Replikaten sind  $f$  fehlerhaft)
  1. fail-silent  $\rightarrow$  Anzahl Replikate:  $n = f + 1$
  2. fail-consistent  $\rightarrow$  Anzahl Replikate:  $n = 2f + 1$
  3. malicious  $\rightarrow$  Anzahl Replikate:  $n = 3f + 1$ , bösartige verteilte Systeme

# Triple Modular Redundancy



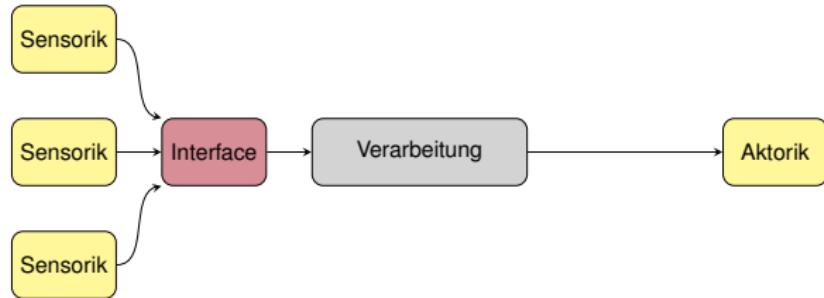
# Triple Modular Redundancy



- Schnittstelle sammelt Eingangsdaten (Replikdeterminismus)



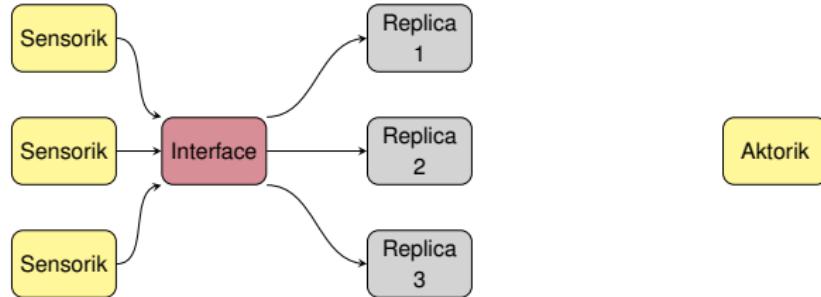
# Triple Modular Redundancy



- Schnittstelle sammelt Eingangsdaten (Replikdeterminismus)
- Insbesondere: Mögl. Mehrheitsentscheid für redundante Sensordaten



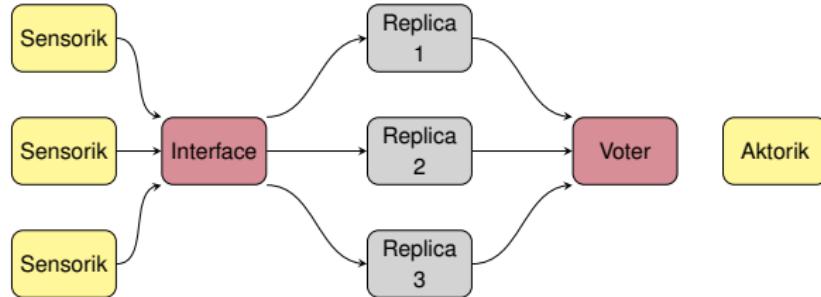
# Triple Modular Redundancy



- Schnittstelle sammelt Eingangsdaten (Replikdeterminismus)
- Insbesondere: Mögl. Mehrheitsentscheid für redundante Sensordaten
- Verteilt Daten und aktiviert Replikate



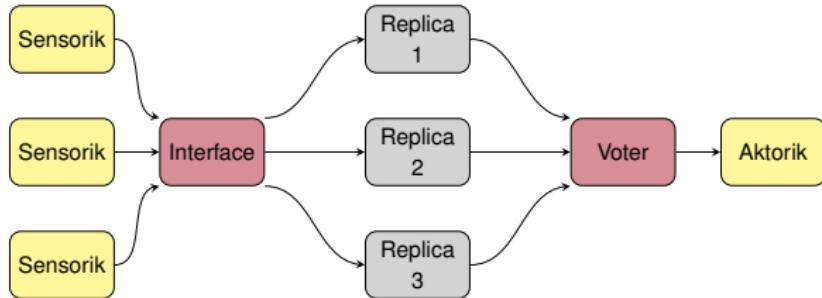
# Triple Modular Redundancy



- Schnittstelle sammelt Eingangsdaten (Replikdeterminismus)
- Insbesondere: Mögl. Mehrheitsentscheid für redundante Sensordaten
- Verteilt Daten und aktiviert Replikate
- Mehrheitsentscheider (Voter) wählt Ergebnis



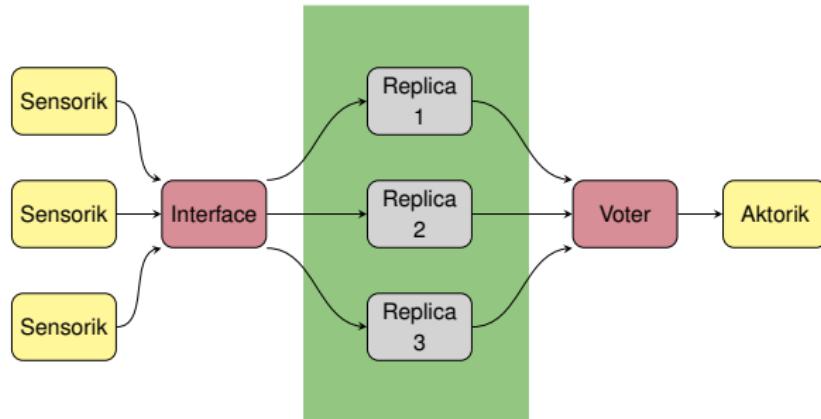
# Triple Modular Redundancy



- Schnittstelle sammelt Eingangsdaten (Replikdeterminismus)
- Insbesondere: Mögl. Mehrheitsentscheid für redundante Sensordaten
- Verteilt Daten und aktiviert Replikate
- Mehrheitsentscheider (Voter) wählt Ergebnis
- Ergebnis wird an Aktuator versendet



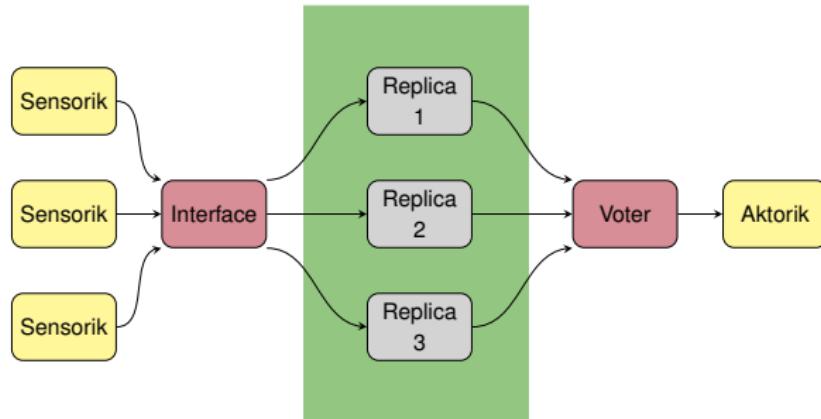
# Triple Modular Redundancy



Redundanzbereich

Ausschließlich Replikatausführung





## Redundanzbereich

Ausschließlich Replikatausführung

- Mehrheitsentscheid über Berechnungsergebnisse
- Erweiterung der Ausgangsseite mit Informationsredundanz



## Replikat 1

```
void repl_1(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 2

```
void repl_2(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 3

```
void repl_3(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```



## Replikat 1

```
void repl_1(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 2

```
void repl_2(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 3

```
void repl_3(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Sicherstellung Replikdeterminismus

- Globale diskrete Zeitbasis
- Einigung über Eingabewerte
- Statische Kontrollstruktur der Replikate
- Deterministische Algorithmen



## Replikat 1

```
void repl_1(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 2

```
void repl_2(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 3

```
void repl_3(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Sicherstellung Replikdeterminismus

## Single Core

- Globale diskrete Zeitbasis
- Einigung über Eingabewerte
- Statische Kontrollstruktur der Replikate
- Deterministische Algorithmen



## Replikat 1

```
void repl_1(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 2

```
void repl_2(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Replikat 3

```
void repl_3(void *p){  
    ticks_t time =  
        ezs_get_time();  
  
    ...  
}
```

## Sicherstellung Replikdeterminismus

## Single Core

- Globale diskrete Zeitbasis
- Einigung über Eingabewerte
- Statische Kontrollstruktur der Replikate
- Deterministische Algorithmen

## Sicherstellung Systemverhalten

- ☞ Replikate müssen *innerhalb bestimmter Zeitspanne* terminieren

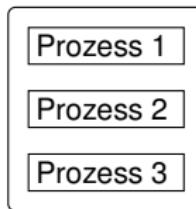


# Process-Level Redundancy

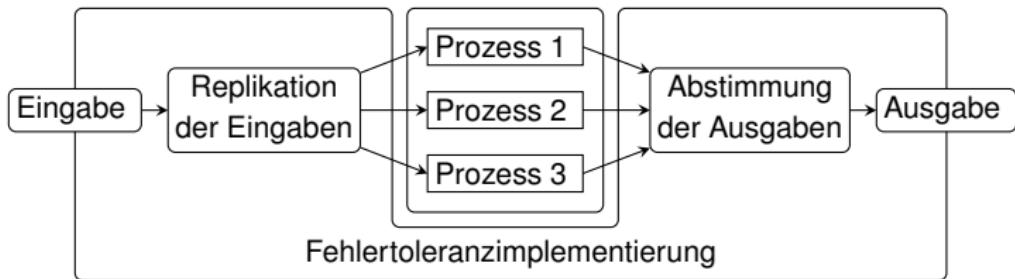
---



# Process-Level Redundancy



# Process-Level Redundancy



# Process-Level Redundancy

