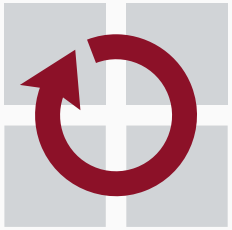
Übungen zu Systemprogrammierung 2

B4 – Ringpuffer

Wintersemester 2025/26

Jürgen Kleinöder, Thomas Preisner, Tobias Häberlein, Ole Wiedemann

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

FAU
Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Agenda

4.1 Synchronisation des Ringpuffers

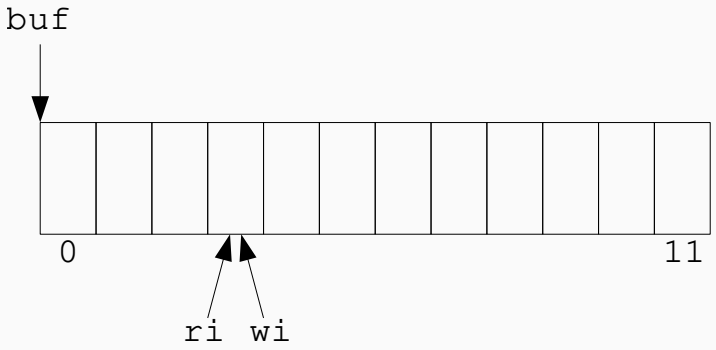
4.2 ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

4.3 Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

Agenda

Unter-/Überlaufsituationen

Leerer Ringpuffer:

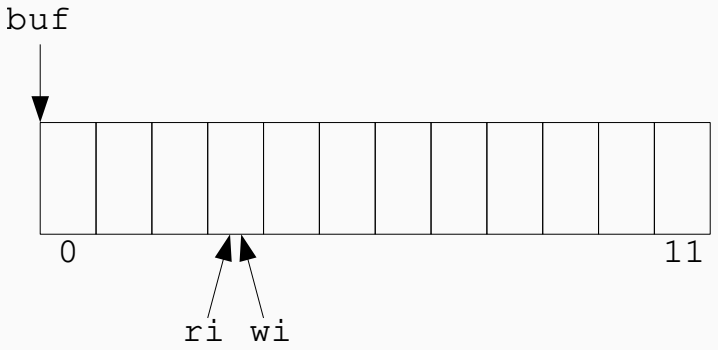


Weiteres Lesen würde noch nicht gefüllten Slot liefern

$\rightarrow$ Unterlauf!

Unter-/Überlaufsituationen

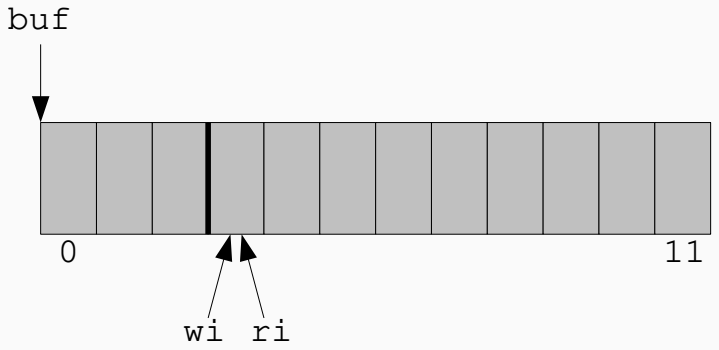
Leerer Ringpuffer:



Weiteres Lesen würde noch nicht gefüllten Slot liefern

→ Unterlauf!

Voller Ringpuffer:

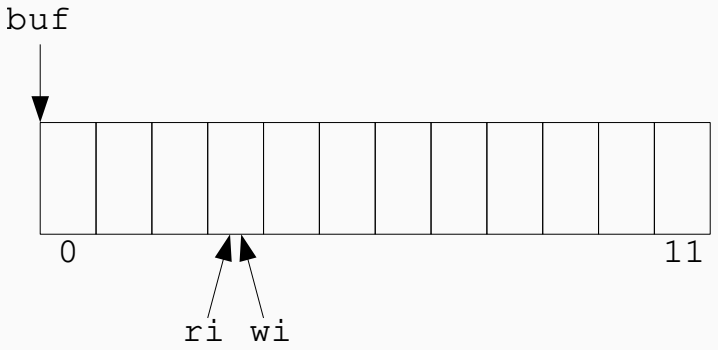


Weiteres Schreiben würde vollen Slot überschreiben

→ Überlauf!

Unter-/Überlaufsituationen

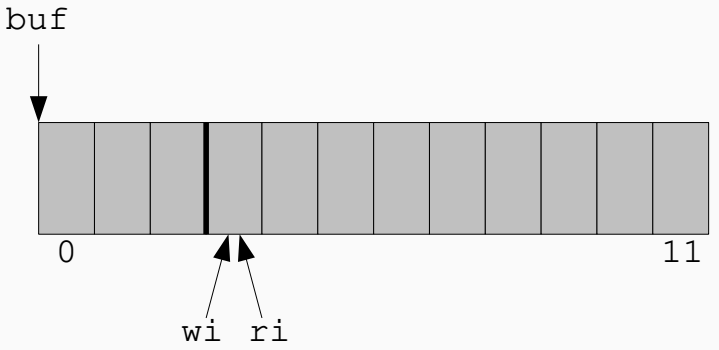
Leerer Ringpuffer:



Weiteres Lesen würde noch nicht gefüllten Slot liefern

→ Unterlauf!

Voller Ringpuffer:



Weiteres Schreiben würde vollen Slot überschreiben

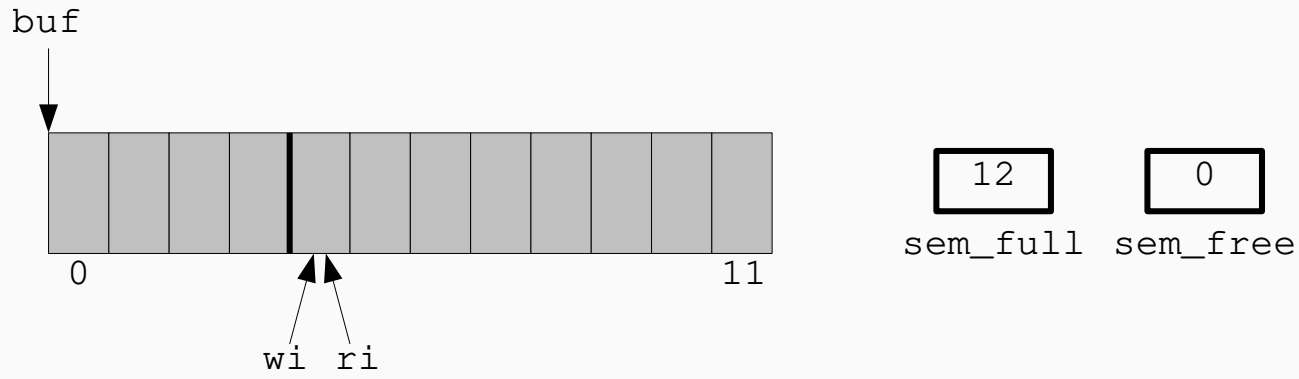
→ Überlauf!

☞ Synchronisation mit Hilfe zweier Semaphore

Wettlauf der Leser

- Auslesen des Slots und Inkrementieren des Leseindex `ri` geschieht nicht atomar
  - Mehrere Threads könnten nebenläufig den selben Slot auslesen
- Synchronisation mittels *Compare and Swap* (CAS)

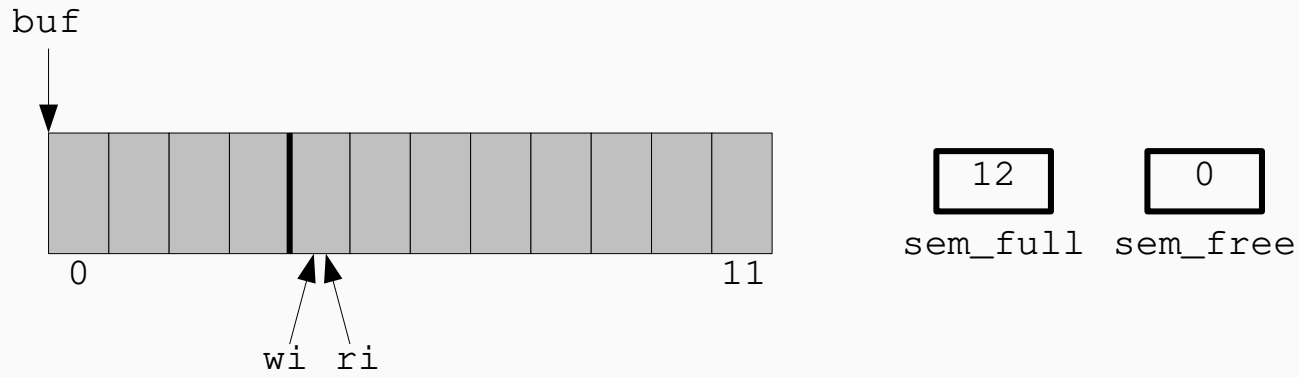
Wettlauf der Leser



- Erhöhen des Leseindex mittels CAS – vollständig korrekt?

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do { // Wiederhole...
    pos = ri;               // Lokale Kopie des Werts ziehen
    npos = (pos + 1) % 12; // Folgewert lokal berechnen
  } while(!cas(&ri, pos, npos)); // ... bis CAS erfolgreich
  fd = buf[pos];
  up(sem_free);
}
```

Wettlauf der Leser



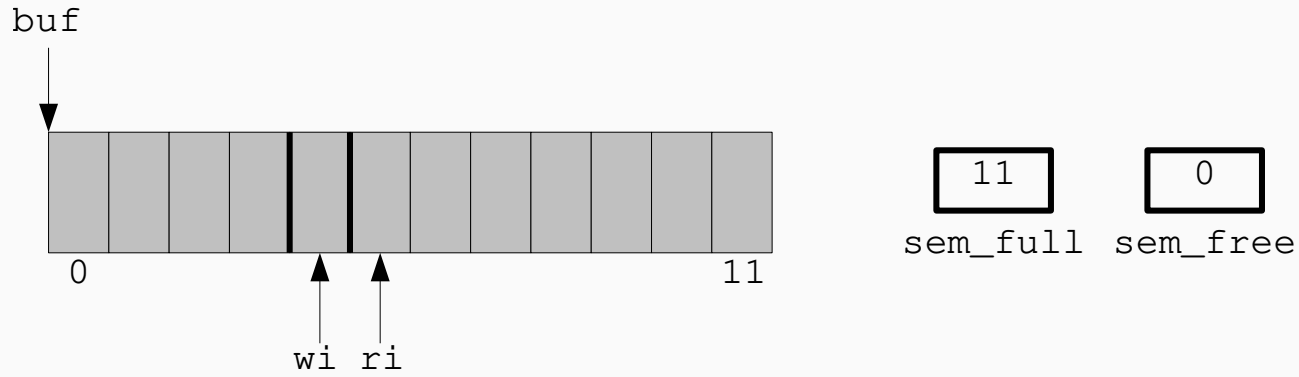
- Überlaufsituation: Schreiber blockiert, weil keine Slots frei

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];
  up(sem_free);
  return fd;
}
```

W

```
void add(int val) {
  down(sem_free);
  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;
  up(sem_full);
}
```

Wettlauf der Leser



- R1 sichert sich Leseindex 4, wird nach erfolgreichem CAS verdrängt

R1

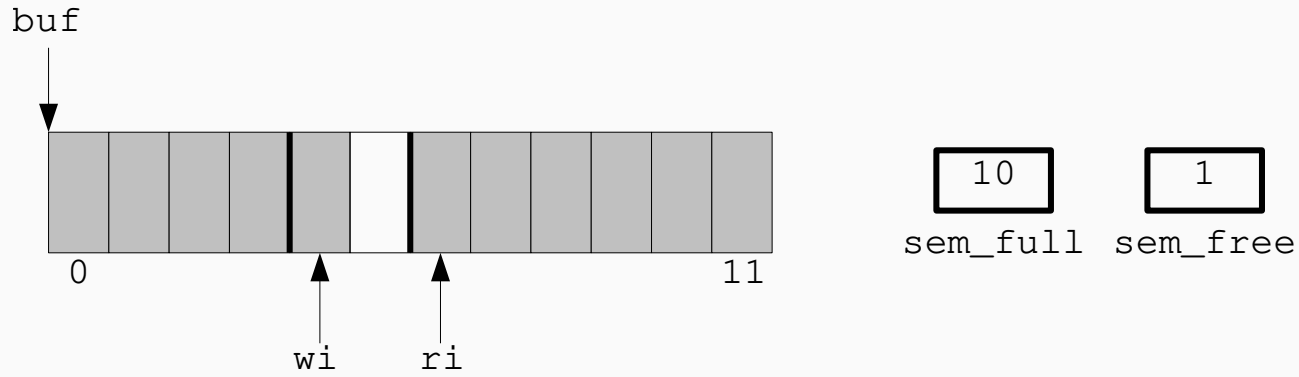
```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];
  up(sem_free);
  return fd;
}
```

pos: 4

W

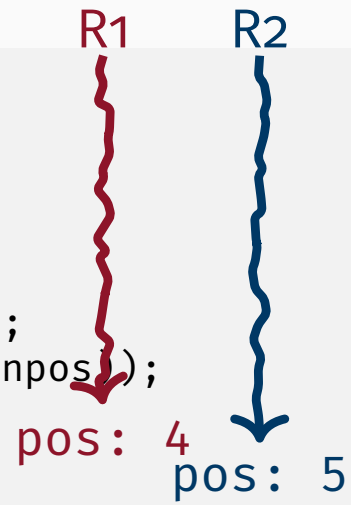
```
void add(int val) {
  down(sem_free);
  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;
  up(sem_full);
}
```

Wettlauf der Leser



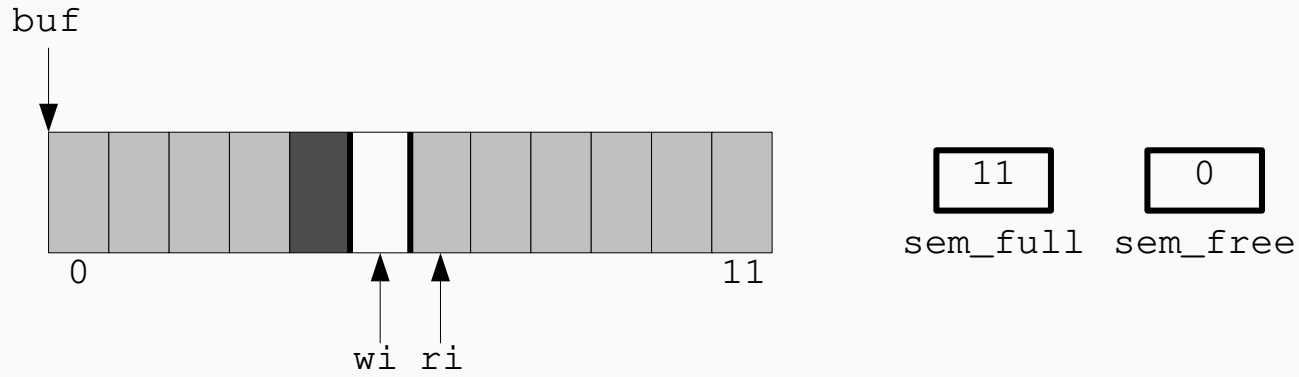
- R2 durchläuft `get()` komplett, entnimmt Datum in Slot 5

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];
  up(sem_free);
  return fd;
}
```



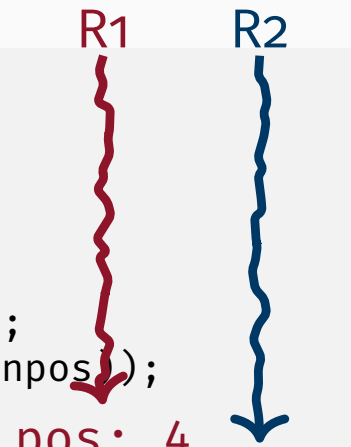

```
void add(int val) {
  down(sem_free);
  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;
  up(sem_full);
}
```

Wettlauf der Leser



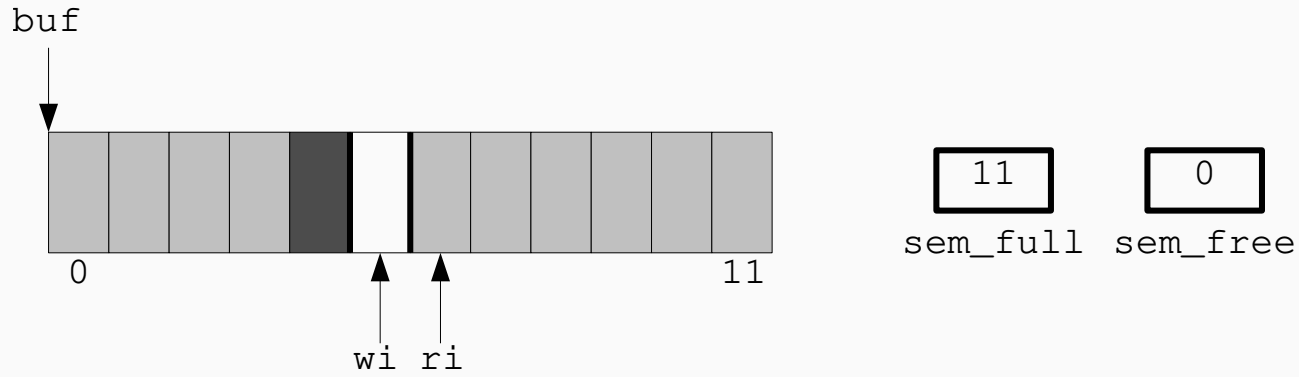
- W wird deblockiert, komplettiert add( ) und überschreibt Slot 4

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];
  up(sem_free);
  return fd;
}
```



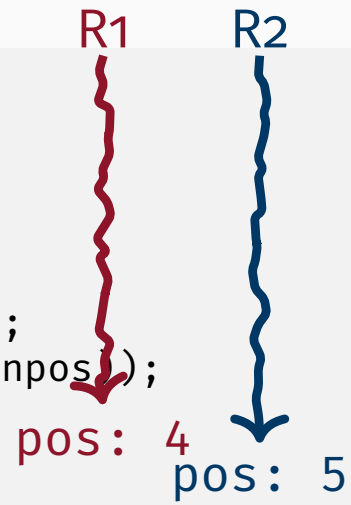

```
void add(int val) {
  down(sem_free);
  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;
  up(sem_full);
}
```

Wettlauf der Leser



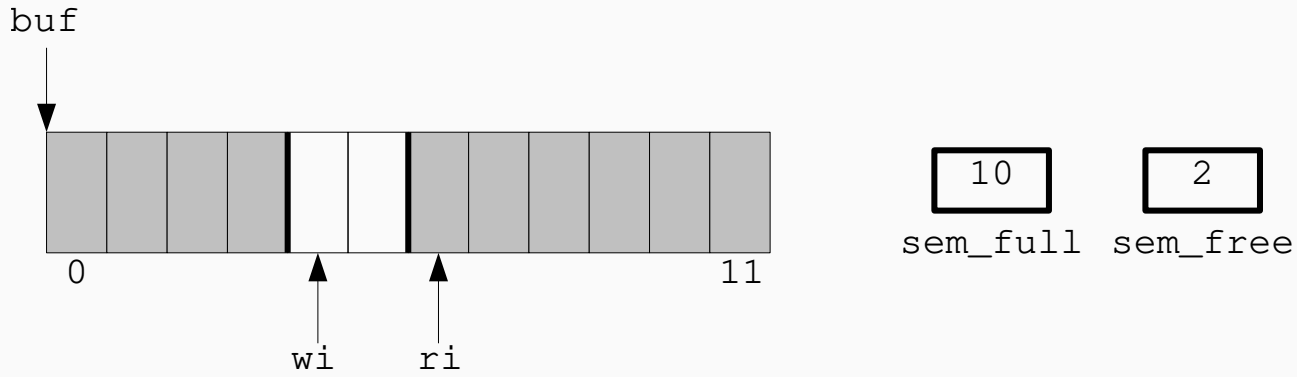
- Ursache: FIFO-Entnahmeeigenschaft des Puffers nicht sichergestellt

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  fd = buf[pos];
  up(sem_free);
  return fd;
}
```




```
void add(int val) {
  down(sem_free);
  buf[wi] = val;
  wi = (wi + 1) % 12;
  up(sem_full);
}
```

Wettlauf der Leser

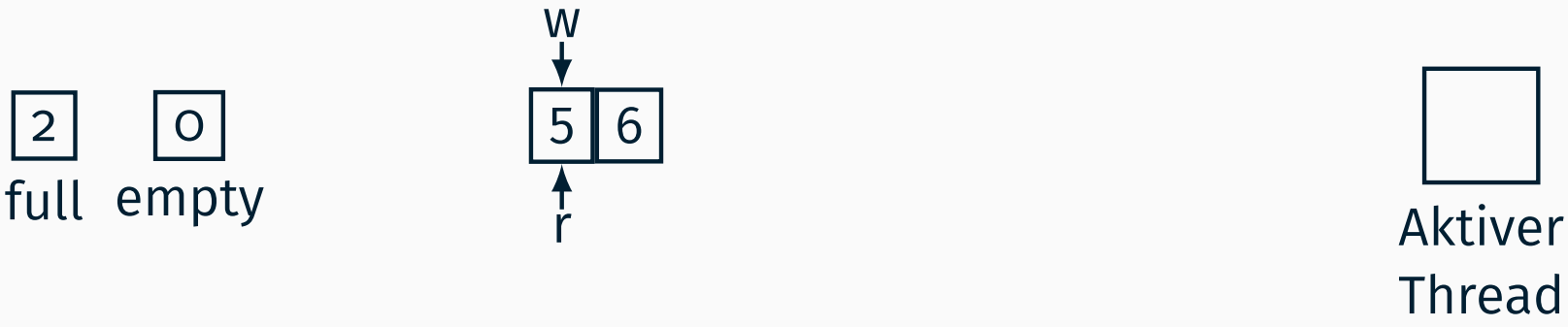


- Lösung: Entnahme des Datums **innerhalb** der CAS-Schleife

```
int get(void) {
  int fd, pos, npos;
  down(sem_full);
  do {
    pos = ri;
    npos = (pos + 1) % 12;
    fd = buf[pos]; // Datum bereits vorsorglich entnehmen
  } while(!cas(&ri, pos, npos));
  up(sem_free);
  return fd;
}
```

Agenda

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS



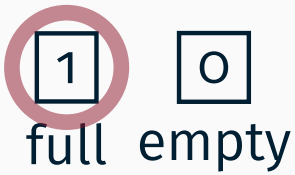
T1

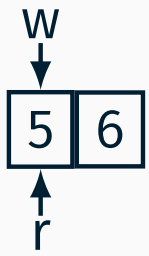
```
bbGet();
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





Aktiver Thread

T1

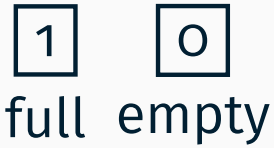
```
bbGet();
```

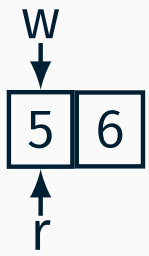
```
bbGet() {
  ...
  int retVal = 0;
  down(full);
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while(!cas(&r, 0, 1));
  ...
  up(empty);
}
```

T2

```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





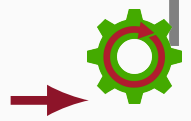
Aktiver Thread

T1

```
bbGet();
```

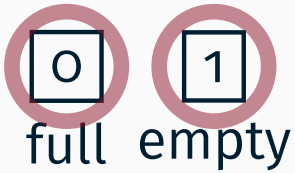
```
bbGet() {
  ...
  int retVal = 0;
  down(full);
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while(!cas(&r, 0, 1));
  ...
  up(empty);
}
```

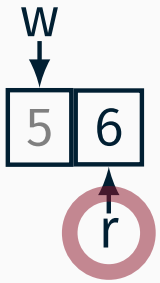
T2



```
bbGet();
bbPut(7);
bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





T2

Aktiver Thread

T1

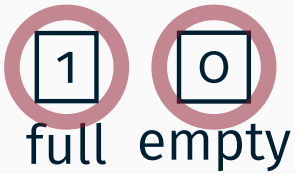
```
bbGet();
```

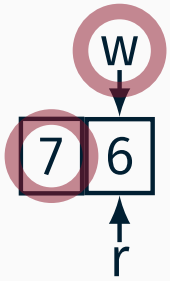
```
bbGet() {
  ...
  int retVal = 0;
  down(full);
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while(!cas(&r, 0, 1));
  ...
  up(empty);
}
```

T2

```
/* 5 */ bbGet();
        bbPut(7);
        bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





T2

Aktiver Thread

T1

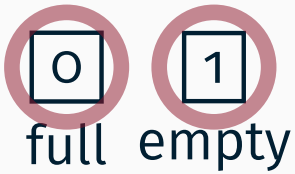
```
bbGet();
```

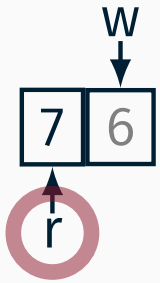
```
bbGet() {
  ...
  int retVal = 0;
  down(full);
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while(!cas(&r, 0, 1));
  ...
  up(empty);
}
```

T2

```
/* 5 */ bbGet();
        bbPut(7);
        bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS





Aktiver Thread

T1

```
bbGet();
```

```
bbGet() {
  ...
  int retVal = 0;
  down(full);
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while(!cas(&r, 0, 1));
  ...
  up(empty);
}
```

T2

```
/* 5 */ bbGet();
        bbPut(7);
/* 6 */ bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

T1

Aktiver Thread

T1

T2

```
bbGet();
```

```
bbGet() {
  ...
  int retVal = 0;
  down(full);
  do {
    ...
    retVal = 5;
  } while(!cas(&r, 0, 1));
  ...
  up(empty);
}
```

```
/* 5 */ bbGet();
        bbPut(7);
/* 6 */ bbGet();
```

ABA-Problem bei der Verwendung von CAS

- `bbGet()` liefert 5 statt 7 zurück
  - CAS schlägt nicht fehl, weil `r` nach dem Wiedereinlasten des Threads den selben Wert hat wie vor dessen Verdrängung
  - Zwischenzeitliche Wertänderung von `r` wird nicht erkannt
- Grundsätzliches Problem von inhaltsbasierten Elementaroperationen wie CAS
- Erhöhte Auftrittswahrscheinlichkeit, je kleiner der Puffer und je höher die Systemlast
- Gegenmaßnahmen siehe Vorlesung C | X-4 S. 24ff.

ABA-Problem in den Griff bekommen

- Einführen eines Generationszählers, der bei jeder erfolgreichen Operation inkrementiert wird
- ABA-Situation: Leseindex hat nach Umlaufen des Ringpuffers wieder den alten Wert – aber Generationszähler hat anderen Wert
  $\rightarrow$ CAS schlägt fehl
- **Möglichkeit 1:** separate Zählvariable
  - Erfordert gleichzeitige, atomare Änderung **beider** Zählvariablen
  - Bei 8 Byte Zählvariablen: 16 Byte *CAS*-Operation erforderlich
- **Möglichkeit 2:** eingebetteter Generationszähler
  - Zählvariable wird monoton erhöht (Index über Modulo berechnen)
  - Überlaufbehandlung erforderlich

ABA-Problem in den Griff bekommen

- Einführen eines Generationszählers, der bei jeder erfolgreichen Operation inkrementiert wird
- ABA-Situation: Leseindex hat nach Umlaufen des Ringpuffers wieder den alten Wert – aber Generationszähler hat anderen Wert
  $\rightarrow$ CAS schlägt fehl
- **Möglichkeit 1:** separate Zählvariable
  - Erfordert gleichzeitige, atomare Änderung **beider** Zählvariablen
  - Bei 8 Byte Zählvariablen: 16 Byte *CAS*-Operation erforderlich
- **Möglichkeit 2:** eingebetteter Generationszähler
  - Zählvariable wird monoton erhöht (Index über Modulo berechnen)
  - Überlaufbehandlung erforderlich
- Keine hundertprozentige Sicherheit möglich:
  - Generationszähler hat begrenzten Wertebereich und kann überlaufen
  - Je nach Größe des Zählers und konkretem Szenario (hoffentlich) ausreichend unwahrscheinlich

Agenda

Vorteile nicht-blockierender Synchronisation

- Vorteile gegenüber sperrenden oder blockierenden Verfahren (Auswahl):
  - Rein auf Anwendungsebene, keine teuren Systemaufrufe
  - Geringere Mehrkosten als bei Locking, wenn die CAS-Operation auf Anhieb funktioniert
  - Konkurrierende Fäden werden vom Scheduler nach dessen Kriterien eingeplant
  - Durch Locks wird eine Abhängigkeit vom Halter des Locks geschaffen:
    - Halter des Locks wird möglicherweise im kritischen Abschnitt verdrängt
    - Der „Zweite“, „Dritte“ usw. werden durch den „Ersten“ verzögert
- In unserem konkreten Anwendungsbeispiel kommen diese Vorteile nicht wirklich zum Tragen
  - Übungsbeispiel zum Begreifen des Konzepts