

**WBE: JAVASCRIPT**

**ASYNCHRONES PROGRAMMIEREN**

# ÜBERSICHT

- File API
- Reagieren auf Ereignisse
- Modul „events“
- Promises, Async/Await

# ÜBERSICHT

- File API
- Reagieren auf Ereignisse
- Modul „events“
- Promises, Async/Await

# SYNCHRONES LESEN AUS DATEI

```
1  const fs = require('fs')
2  let data = fs.readFileSync('/etc/hosts')
3  console.log(data)
4  /* → <Buffer 23 23 0a 23 20 48 6f 73 74 20 44 61 74 61 62 61 ...> */
5
6  data = fs.readFileSync('/etc/hosts', 'utf8')
7  console.log(data)
8  /* →
9  ##
10 # Host Database
11 #
12 ...
13 */
```

Problem?

# EIN-/AUSGABE

Access	Cycles
L1	3 cycles
L2	14 cycles
RAM	250 cycles
DISK	41'000'000 cycles
NETWORK	240'000'000 cycles

Zahlen nicht mehr aktuell (ca. 2010), aber die Grössenordnung dürfte in etwa noch stimmen

# SYNCHRONES LESEN AUS DATEI

```
1 data = fs.readFileSync('/etc/hosts', 'utf8')
2 /*
3   wait...
4   wait...
5   wait...
6   wait...
7   wait...
8   wait...
9   wait...
10 */
11 console.log(data)
```

FAIL!

# ASYNCHRONES LESEN AUS DATEI

```
1 const fs = require('fs')
2 fs.readFile('/etc/hosts', 'utf8', (err, data) => {
3   if (err) throw err
4   console.log(data)
5 })
6
7 doSomethingElse()
```

WIN ✓

# CALLBACKS

- Ein **Callback** ist eine Funktion, welche als Argument einer anderen Funktion übergeben wird und erst aufgerufen wird, wenn das Ereignis eingetreten ist
- Beispiel: `fs.readFile` mit Callback
- Ursprünglich in JS: Reaktion auf Webseiten-Ereignisse

```
document.getElementById('button').addEventListener('click', () => {  
  //item clicked  
})
```

Mehr zum Browser-DOM in einer späteren Lektion



# FILE-API

- Datei-Operationen sind in der Regel langsam
- Sie sollten praktisch immer asynchron ausgeführt werden
- Erstes Argument statt Pfad auch: **File Descriptor**
- Methode `open` liefert einen File Descriptor

```
const fs = require('fs')

fs.open('test.txt', 'r', (err, fd) => {
  // fd is our file descriptor
})
```

# DATEI-INFORMATIONEN

```
1  const fs = require('fs')
2  fs.stat('test.txt', (err, stats) => {
3    if (err) {
4      console.error(err)
5      return
6    }
7
8    stats.isFile()           /* true */
9    stats.isDirectory()      /* false */
10   stats.isSymbolicLink()    /* false */
11   stats.size                 /* 1024000 = ca 1MB */
12 })
```

[https://nodejs.org/api/fs.html#fs\\_class\\_fs\\_stats](https://nodejs.org/api/fs.html#fs_class_fs_stats)

# DATEIEN UND PFADE

```
1 const path = require('path')
2 const notes = '/users/bkrt/notes.txt'
3
4 path.dirname(notes)           /* /users/bkrt */
5 path.basename(notes)         /* notes.txt */
6 path.extname(notes)           /* .txt */
7 path.basename(notes, path.extname(notes)) /* notes */
```

- Diverse weitere Methoden
- <https://nodejs.org/api/path.html>

# DATEIEN SCHREIBEN

```
1  const fs = require('fs')
2  const content = 'Node was here!'
3
4  fs.writeFile('/Users/bkrt/test.txt', content, (err) => {
5    if (err) {
6      console.error(`Failed to write file: ${err}`)
7      return
8    }
9    /* file written successfully */
10 })
```

# STREAMS

- Grössere Dateien eher mit Streams lesen und schreiben
- Daten werden nach und nach geliefert oder geschrieben
- Lesen: `data`- und `end`-Events

Mehr zum Thema *Streams* in einer späteren Lektion

# VERZEICHNISSE

- Im `fs`-Modul: auch Funktionen zur Arbeit mit Ordnern
- Die meisten davon gibt es auch in einer synchronen Variante

Funktion	Bedeutung
<code>fs.access</code>	Zugriff auf Datei oder Ordner prüfen
<code>fs.mkdir</code>	Verzeichnis anlegen
<code>fs.readdir</code>	Verzeichnis lesen, liefert Array von Einträgen
<code>fs.rename</code>	Verzeichnis umbenennen
<code>fs.rmdir</code>	Verzeichnis löschen

# MEHR ZUM FS-MODUL

Funktion	Bedeutung
<code>fs.chmod</code>	Berechtigungen ändern
<code>fs.chown</code>	Besitzer und Gruppe ändern
<code>fs.copyFile</code>	Datei kopieren
<code>fs.link</code>	Hardlink anlegen
<code>fs.symlink</code>	Symbolic Link anlegen
<code>fs.watchFile</code>	Datei auf Änderungen überwachen

# ÜBERSICHT

- File API
- Reagieren auf Ereignisse
- Modul „events“
- Promises, Async/Await



# EIN THREAD

- JavaScript-Code wird in einem Thread abgearbeitet
- Probleme vermieden, die bei paralleler Ausführung auftreten können (gemeinsame Ressourcen, mögliche Blockaden)
- Vorsicht: Thread darf nicht blockiert werden
- Browser: Tabs normalerweise mit unabhängigen Event Loops

# BEISPIEL

```
// script.js
setTimeout(() => {
  console.log("fertig :)")
}, 5000)

console.log("starting...")
```

Aufruf:

```
$ node script.js
starting...
fertig :)
$
```

- Mehr zu `setTimeout()` gleich
- Callback nach Ablauf des Timers aufgerufen
- Ausgabe **fertig :)** erscheint 5 Sekunden nach **starting...**

# ABLAUF

- Script wird ausgeführt
- Funktionsaufrufe → **Call Stack**
- Callbacks asynchroner Operationen in **Event Queue(s)** gelegt
- Wenn Call Stack leer, d.h. (synchrone) Aufrufe abgearbeitet:
  - Übergang in eine so genannte **Event Loop**
  - Callbacks aus Event Queue abgearbeitet
  - Event Queue leer: Programm beendet

# EVENT LOOP

Ein vereinfachtes Modell kann das Verhalten asynchroner Programme in vielen Situationen ganz gut erklären. Es basiert auf diesen Annahmen:

- Es gibt *eine* Event Queue
- Ablage der Callbacks in der Event Queue basiert auf OS-APIs

# EVENT LOOP: SIMULATOR

The screenshot shows the Loupe Event Loop Simulator in a web browser. The interface is divided into several sections:

- Code Editor:** Contains JavaScript code:

```
1 setTimeout(function() {  
2   console.log("fertig :");  
3 }, 5000);  
4  
5 $.on("button", "click", function() {  
6   console.log("clicked");  
7 })  
8  
9 console.log("starting...");  
10
```

A "Save + Run" button is next to the code.
- UI:** A "Click me!" button and an "Edit" button are at the bottom left.
- Visualizers:** Three dashed boxes represent the "Call Stack", "Web Apis", and "Callback Queue". A red circular arrow icon is positioned between the top two and the bottom one, indicating the flow of the event loop.
- Console:** At the bottom, it shows two log entries:

```
Loupe @ 9 > starting...  
Loupe @ 2 > fertig :)
```
- Browser Interface:** The top shows the browser's address bar with the URL `latentflip.com/loupe/?code=c2V0VGltZW91dChmdW5jdGlvbGpIHSKICBjb25zb2xlLmxvZygiZmVydGlnID`. The bottom of the browser shows various developer tools tabs like "Inspektor", "Konsole", "Debugger", etc.

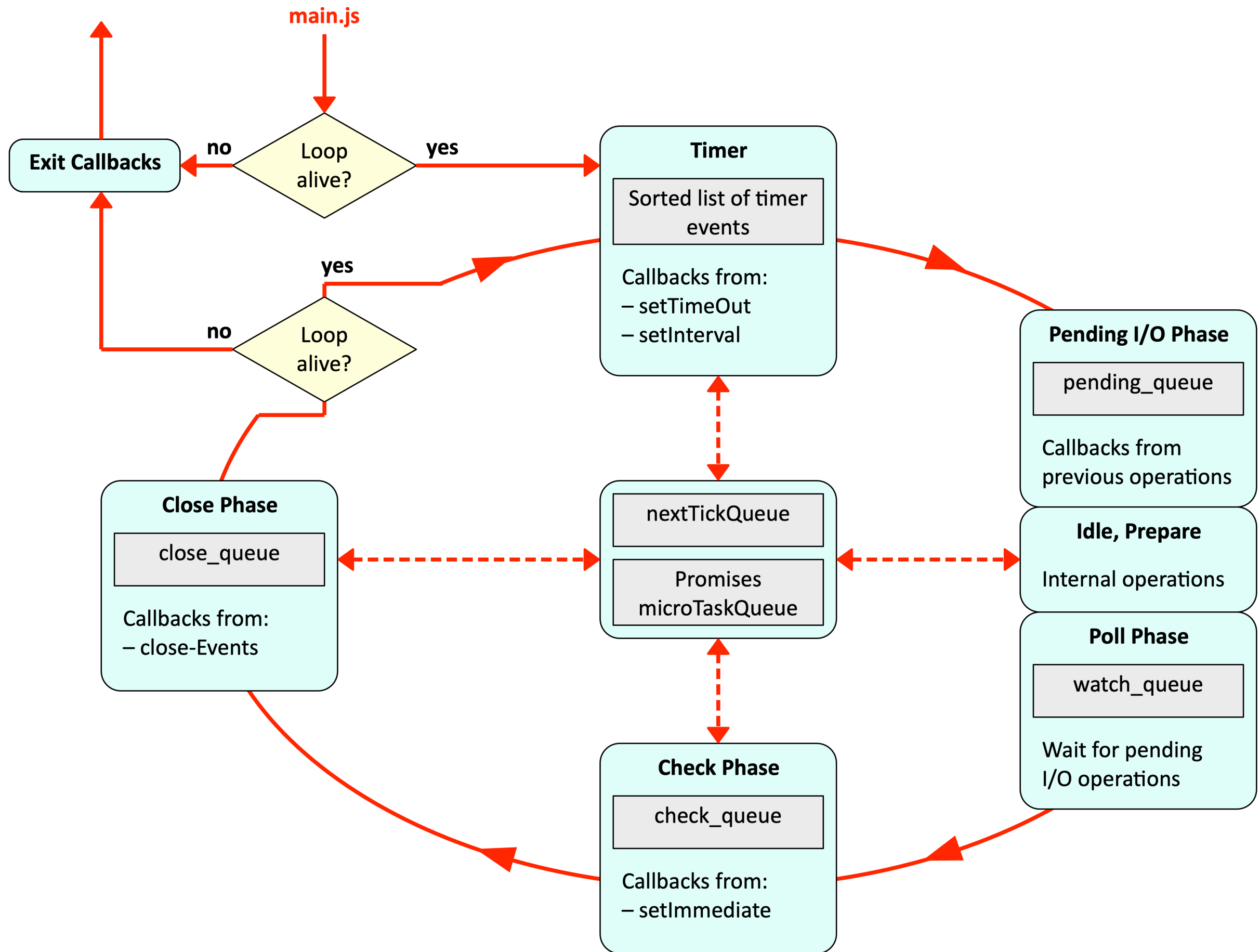
<http://latentflip.com/loupe/>

# WICHTIG

- Event Loop nicht blockieren!
- Grund: blockiert die gesamte Applikation
- Im Browser: blockiert den Browser
- Zu vermeiden also:
  - synchrone Operationen (etwa für Datei- oder Netzwerkzugriff)
  - aufwändige Berechnungen ohne Unterbrechung
  - Endlosschleifen

# EVENT LOOP: MEHR DETAILS

- Einfaches Modell der Event Loop entspricht nicht der Realität
- Es genügt, um viele, aber nicht alle Situationen zu erklären
- Ein paar Richtigstellungen
  - Event Loop ist nicht Teil der JS-Engine sondern steuert diese
  - Es gibt mehrere Queues
  - Die Event Loop läuft nicht in einem separaten Thread
  - Mit `setTimeout` wird keine OS-API beauftragt

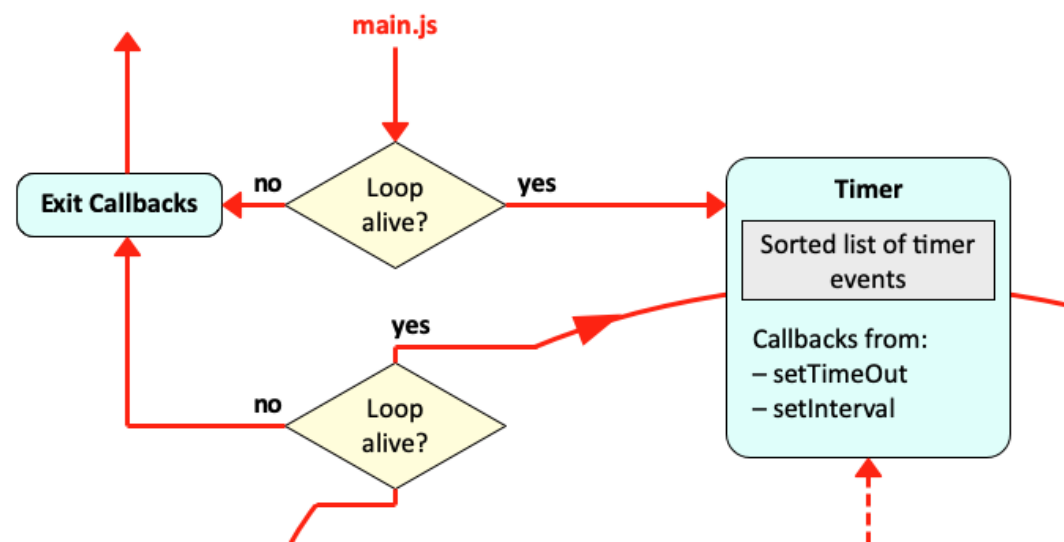




# EVENT LOOP: ABLAUF

- Script-Aufruf: Event Loop und Datenstrukturen angelegt
- Script mit synchronen Operationen ausgeführt (Call Stack)
- Dabei werden die Listen und Queues ggf. mit Callbacks gefüllt
- Nach Abschluss des Scripts (Call Stack leer):  
Eintritt in die Event Loop
- Schleife bis alle Callbacks abgearbeitet

# EVENT LOOP: **TIMER**



- Für Callbacks des Zeitgebers (`setTimeout`, `setInterval`)
- **Sortierte Liste** (keine Queue) nach Zeitstempel der Fälligkeit

- Callbacks für bereits verstrichenen Zeitpunkte abgearbeitet
- Abbruch auch, wenn systemspezifisches Limit erreicht

# SETTIMEOUT

- Mit `setTimeout` kann Code definiert werden, der zu einem späteren Zeitpunkt ausgeführt werden soll
- Eintrag in die Timer-Liste, auch wenn Zeit auf 0 gesetzt wird
- Kann mit `clearTimeout` entfernt werden

```
setTimeout(() => {  
  /* runs after 50 milliseconds */  
}, 50)
```

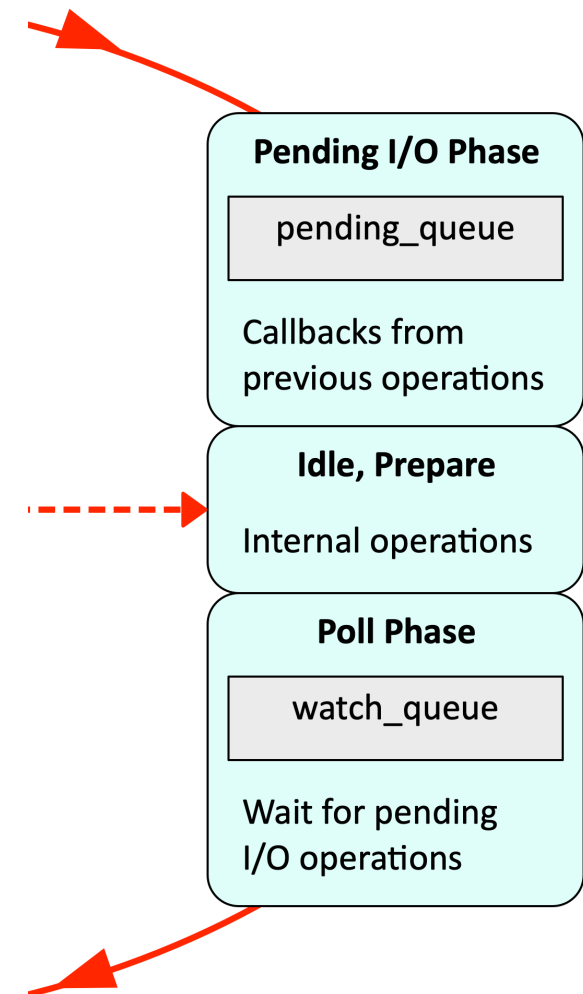
# SETINTERVAL

- Callback alle n Millisekunden in die Callback Queue eingefügt
- Kann mit `clearInterval` beendet werden

```
const id = setInterval(() => {  
  // runs every 2 seconds  
}, 2000)  
  
clearInterval(id)
```

# EVENT LOOP: PENDING I/O, ...

- Von vorhergehenden Durchgängen aufgeschobene Callbacks
- Beispiel: Fehlermeldungen bestimmter TCP-Aufrufe
- Idle, Prepare: interne Aufgaben

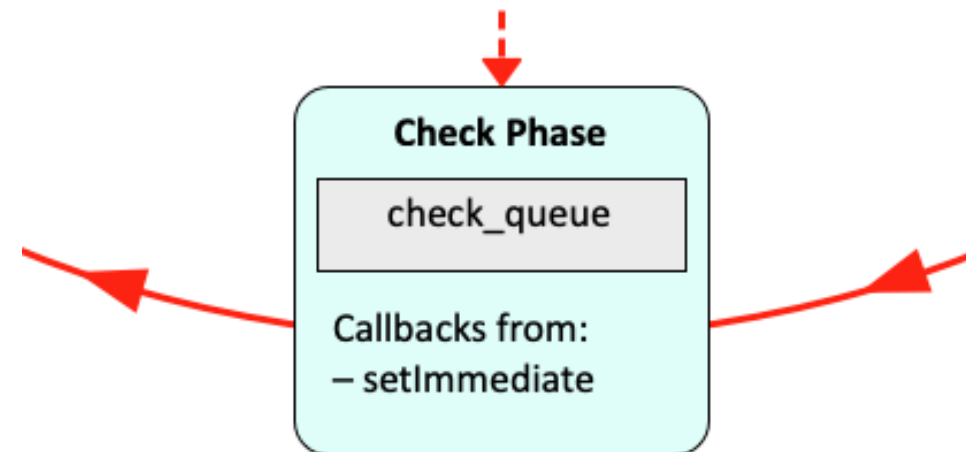


# EVENT LOOP: POLL PHASE

- Abarbeiten der `watch_queue` (auch: `poll_queue`)
- Auf I/O (Verbindungsanfragen etc.) warten
- Wartezeit abhängig von Füllstand der Timer-Liste und der `check_queue` (nächster Punkt in der Loop)
- Abbruch auch, wenn systemspezifisches Limit erreicht

# EVENT LOOP: CHECK PHASE

- Abarbeiten der `check_queue`
- Callbacks von `setImmediate`
- Abbruch auch, wenn systemspezifisches Limit erreicht



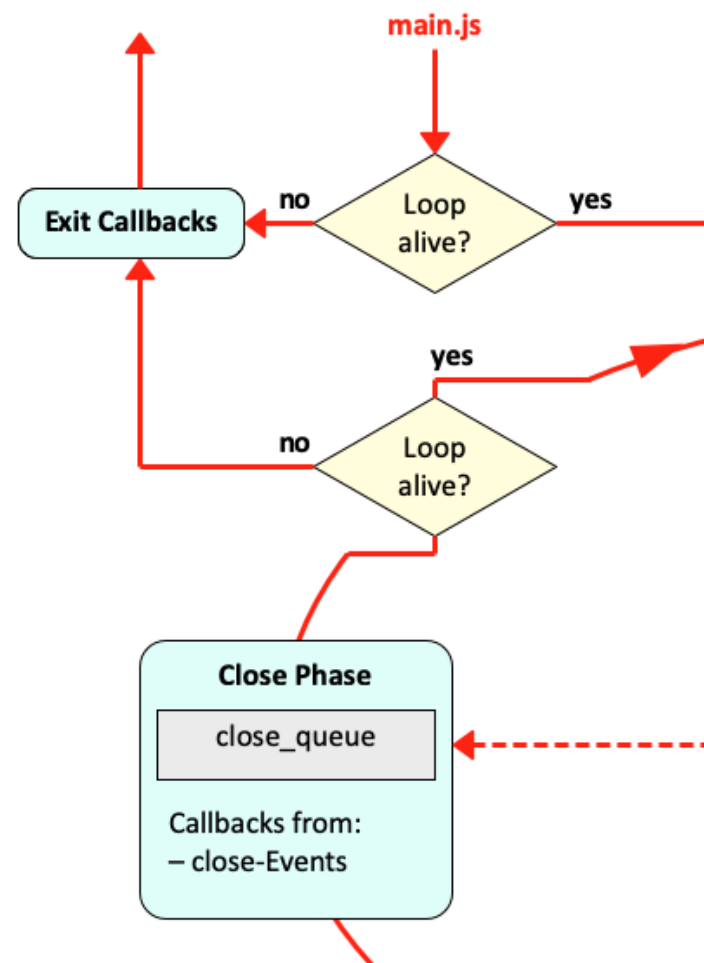
# SETIMMEDIATE

- Node.js API (im Browser nicht unterstützt)
- Callbacks, die direkt nach der Poll Phase ausgeführt werden
- Damit: Unterschied zwischen `setImmediate(...)` und `setTimeout(..., 0)`

```
setImmediate(() => {  
  console.log('immediate')  
})
```



# EVENT LOOP: CLOSE PHASE

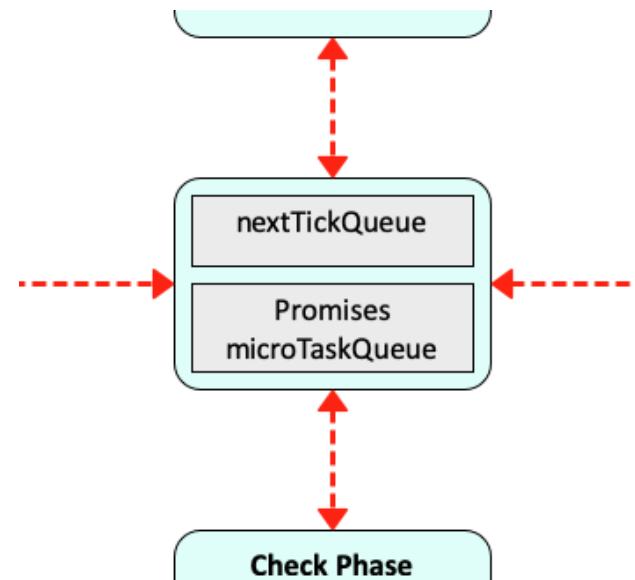


- Verarbeiten bestimmter close-Events
- Zum Beispiel:  

```
socket.on('close', ...)
```
- Wenn dann alle Queues und Listen leer sind, wird die Event Loop beendet

# NEXTTICKQUEUE UND PROMISES

- So früh wie möglich abgearbeitet
- Nicht Teil der Event Loop



- Von Node.js nach jeder Operation eingefügt
- Operation hier: JavaScript-Aufruf von C/C++ aus

# NEXTTICKQUEUE

- Durch die API `process.nextTick` angelegte Callbacks
- `process.nextTick` daher vor `setImmediate` bearbeitet

```
fs.readFile("nexttick.js", () => {  
  setTimeout(() => { console.log('timeout'); }, 0)  
  setImmediate(() => { console.log('immediate'); })  
  process.nextTick(() => { console.log('nexttick'); })  
})
```

```
// Output:  
// nexttick  
// immediate  
// timeout
```

# PROMISES MICROTASKQUEUE

- Callbacks von erfüllten/abgewiesenen Promises
- Das betrifft die native Promise-API von JavaScript
- Nach den `nextTick`-Callbacks abgearbeitet

```
Promise.resolve().then(() => console.log('promise resolved'))
setImmediate(() => console.log('set immediate'))
process.nextTick(() => console.log('next tick'))
setTimeout(() => console.log('set timeout'), 0)
```

```
// next tick
// promise resolved
// set timeout
// set immediate
```

# ÄNDERUNG SEIT NODE.JS 11

- Micro Tasks werden neu auch zwischen den Callbacks der anderen Phasen ausgeführt
- Entspricht dem Verhalten in Browsern

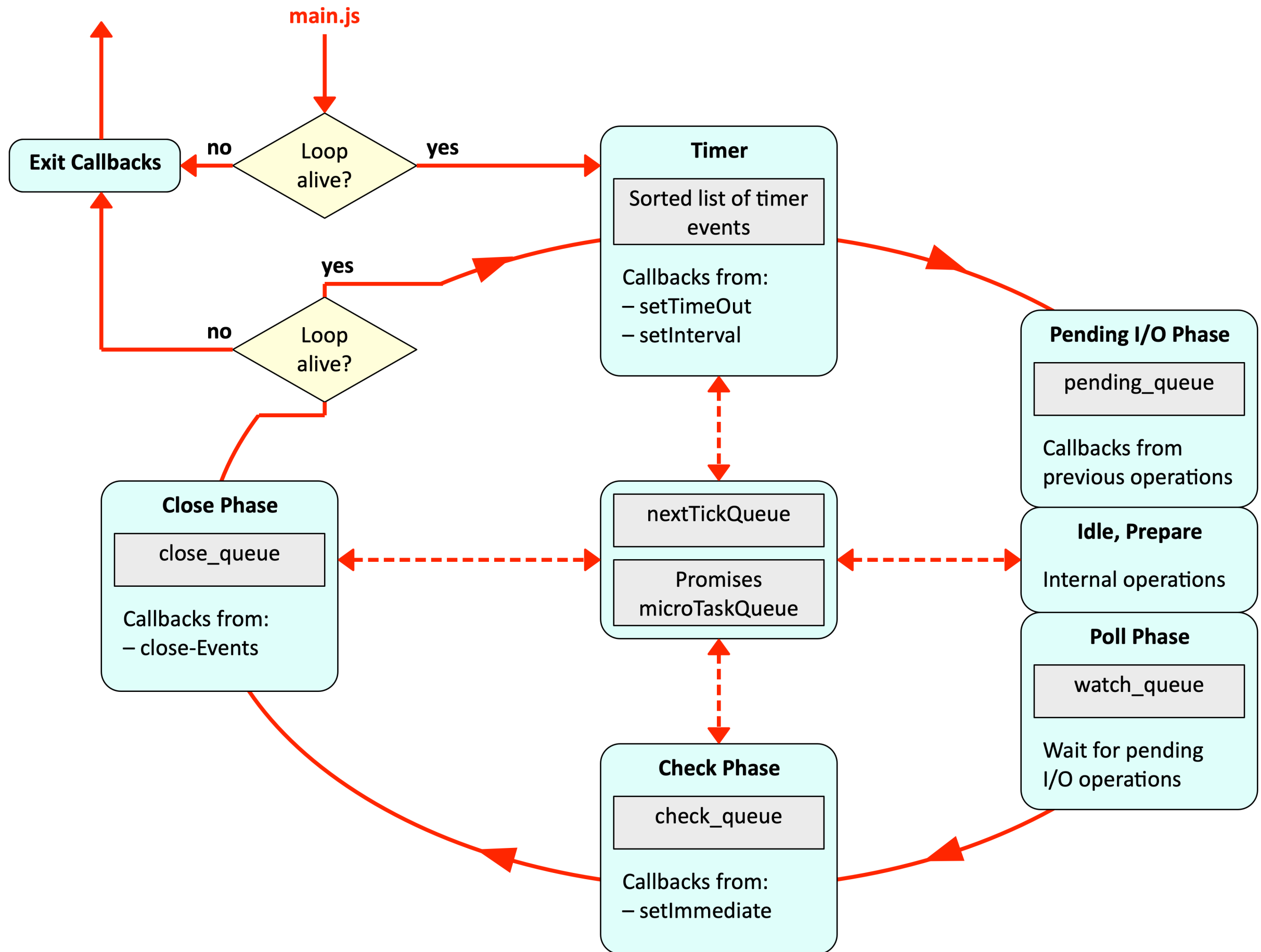
```
setTimeout(() => {  
  console.log('timeout1')  
  Promise.resolve().then(() => console.log('promise resolve'))  
})  
setTimeout(() => console.log('timeout2'))
```

Node.js < 11:

```
timeout1  
timeout2  
promise resolve
```

Node.js >= 11 und Browser:

```
timeout1  
promise resolve  
timeout2
```



# ÜBERSICHT

- File API
- Reagieren auf Ereignisse
- Modul „events“
- Promises, Async/Await

# EVENT EMITTER

```
const EventEmitter = require('events')  
const door = new EventEmitter()
```

- Verwaltet Liste von Listeners zu bestimmten Events
- Listener für das Event können hinzugefügt oder entfernt werden
- Event kann ausgelöst werden → Listener werden informiert



# LISTENER HINZUFÜGEN

```
const EventEmitter = require('events')
const door = new EventEmitter()

door.on('open', () => {
  console.log('Door was opened')
})
```

- Fügt Event Listener hinzu
- Alias: `emitter.addListener`

# EVENT AUSLÖSEN

```
door.on('open', (speed) => {  
  console.log(`Door was opened, speed: ${speed || 'unknown'}`)  
})
```

```
door.emit('open')  
door.emit('open', 'slow')
```

- Methode `emit`
- Ruft *synchron* alle Listener auf
- Und zwar in der Reihenfolge wie sie definiert wurden
- Es können Argumente übergeben werden

# THIS

```
const myEmitter = new EventEmitter()
myEmitter.on('event', function (a, b) {
  console.log(a, b, this, this === myEmitter)
  // Prints:  a b EventEmitter { domain: null, ... } true
})
myEmitter.emit('event', 'a', 'b')
```

- Normale Listener-Funktion: `this` referenziert die EventEmitter-Instanz, an welche der Listener angehängt ist
- Achtung: Dies gilt nicht für Arrow Functions

# EVENTS ASYNCHRON

- Nach Ereignisauslösung (`emit`) werden die Listener ausgeführt
- Listener werden synchron aufgerufen
- Und zwar in der Reihenfolge der Registrierung
- Listener können selbst auf asynchronen Modus wechseln

```
myEmitter.on('event', (a, b) => {  
  setImmediate(() => {  
    console.log('this happens asynchronously')  
  })  
})
```

# ÜBERSICHT

- File API
- Reagieren auf Ereignisse
- Modul „events“
- Promises, Async/Await

# PROMISES

- Eingeführt mit ES6 (ES2015)
- Vermeiden von verschachtelten Callbacks
- Vereinfacht Fehlerbehandlung

## Promise

Platzhalter für einen Wert, der erst später voraussichtlich verfügbar sein wird

# FUNKTION MIT CALLBACKS

- Bekanntes Beispiel
- Asynchrones Lesen mit `fs`-Modul
- Diesmal in Funktion verpackt

```
1  const fs = require('fs')
2
3  function readFileAsync (file, success, error) {
4    fs.readFile(file, "utf8", (err, data) => {
5      if (err) error(err)
6      else success(data)
7    })
8  }
9
10 /* Aufruf: */
11 readFileAsync(file, okCallback, failCallback)
```

# FUNKTION MIT PROMISE

```
1 function readFilePromise (file) {  
2   let promise = new Promise(  
3     function resolver (resolve, reject) {  
4       fs.readFile(file, "utf8", (err, data) => {  
5         if (err) reject(err)  
6         else resolve(data)  
7       })  
8     })  
9   return promise  
10 }
```

- Gibt nun ein Promise-Objekt zurück
- Promise-Konstruktor erhält *resolver*-Funktion



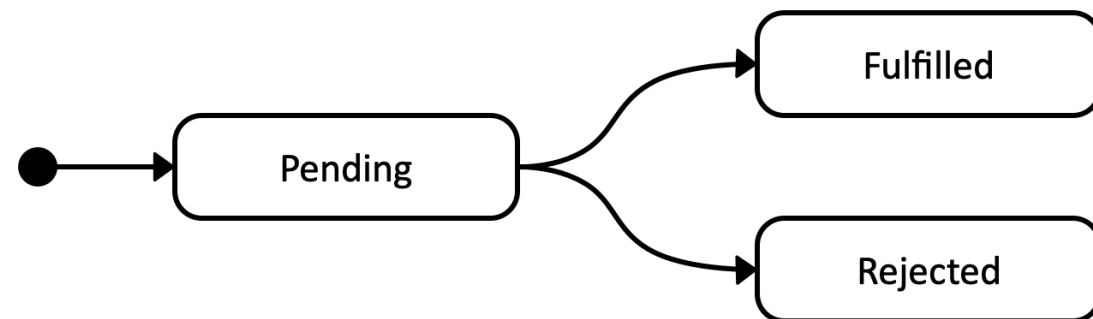
# FUNKTION MIT PROMISE

- Rückgabe einer Promise: potentieller Wert
- Kann später erfüllt oder zurückgewiesen werden
- Aufruf neu:

```
1 readFilePromise('/etc/hosts')
2   .then(console.log)
3   .catch(() => {
4     console.log("Error reading file")
5   })
```

# PROMISE-ZUSTÄNDE

- `pending`: Ausgangszustand
- `fulfilled`: erfolgreich abgeschlossen
- `rejected`: ohne Erfolg abgeschlossen



- Nur ein Zustandsübergang möglich
- Zustand in Promise-Objekt gekapselt

# ÜBUNG: AUSGABE?

```
1 var promise = new Promise((resolve, reject) => {
2     setTimeout(resolve, 500, 'done')
3     setTimeout(reject, 300, 'failed')
4     /* throw new Error('So goes it not :)') */
5 })
6
7 promise.then(function (data) {
8     console.log('success: ' + data)
9 })
10 .catch(function (data) {
11     console.log('fail: ' + data)
12 })
```

# PROMISES

- `then`-Aufruf gibt selbst Promise zurück
- `catch`-Aufruf ebenfalls, per Default erfüllt
- So können diese Aufrufe verkettet werden
- Promise, welche unmittelbar resolved wird:  
`Promise.resolve(...)`
- Promise, welche unmittelbar rejected wird:  
`Promise.reject(...)`

# ÜBUNG: AUSGABE?

```
1 var promise = new Promise((resolve, reject) => {
2   throw new Error('fail')
3   resolve()
4 })
5
6 promise
7   .then (() => console.log('step1'))
8   .then (() => { throw Error('fail') })
9   .then (() => console.log('step2'))
10  .catch(() => console.log('catch1'))
11  .then (() => console.log('step3'))
12  .catch(() => console.log('catch2'))
13  .then (() => console.log('step4'))
```

# PROMISES VERKNÜPFEN

- `Promise.all()`
  - Erhält Array von Promises
  - Erfüllt mit Array der Resultate, wenn alle erfüllt sind
  - Zurückgewiesen sobald eine Promise zurückgewiesen wird
- `Promise.race()`
  - Erhält Array von Promises
  - Erfüllt sobald eine davon erfüllt ist
  - Zurückgewiesen sobald eine davon zurückgewiesen wird

# ASYNC / AWAIT

- Asynchrone Funktionen
- Grundlage: Promise API
- Eingeführt mit ES8 (ES2017)
- Grund: Einsatz von Promises immer noch kompliziert
- Nun: asynchroner Code ähnlich synchronem Code aufgebaut

# ASYNC/AWAIT: BEISPIEL 1

```
1  /* Bekanntes Beispiel */
2  const readHosts = () => {
3    readFilePromise('/etc/hosts')
4      .then(console.log)
5      .catch(() => {
6        console.log("Error reading file")
7      })
8  }
```

```
1  /* Mit async/await */
2  const readHosts = async () => {
3    try {
4      console.log(await readFilePromise('/etc/hosts'))
5    }
6    catch (err) {
7      console.log("Error reading file")
8    }
9  }
```



# ASYNC/AWAIT: BEISPIEL 2

```
1 function resolveAfter2Seconds (x) {  
2   return new Promise(resolve => {  
3     setTimeout(() => {  
4       resolve(x)  
5     }, 2000)  
6   })  
7 }  
8  
9 async function add1(x) {  
10   var a = resolveAfter2Seconds(20)  
11   var b = resolveAfter2Seconds(30)  
12   return x + await a + await b  
13 }  
14  
15 add1(10).then(console.log)
```

# PROMISE API VON FS

- Ab Node.js 10
- Bisher: Callback oder Promise selber bauen
- Nun: viele fs-Methoden mit Promise-Rückgabe

```
1 const {readFile} = require("fs/promises")
2
3 readFile("file.txt", "utf8")
4   .then(text => console.log("The file contains:", text))
```

# QUELLEN

- Marijn Haverbeke: Eloquent JavaScript, 3rd Edition  
<https://eloquentjavascript.net/>
- Ältere Slides aus WEB2 und WEB3
- Dokumentationen, u.a. zu Node.js

# LESESTOFF

Geeignet zur Ergänzung und Vertiefung

- Einzelne Abschnitte in Kapitel 11 von:  
Marijn Haverbeke: Eloquent JavaScript, 3rd Edition  
<https://eloquentjavascript.net/>