

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 später im Semester

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

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

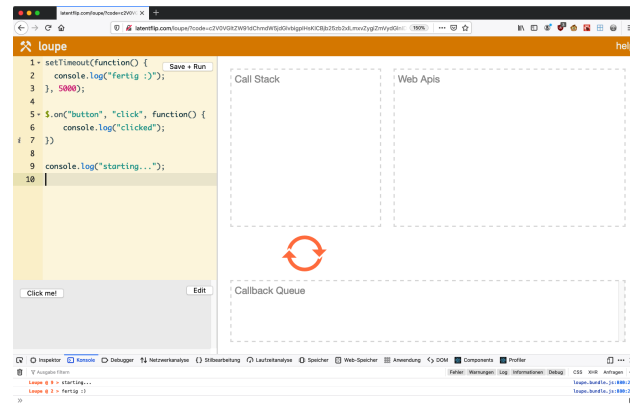
- Script wird ausgeführt
- Funktionsaufrufe → Call Stack
- Callbacks asynchroner Operationen in Event Queue(s) gelegt
- Wenn Call Stack leer, d.h. (synchrone) Aufrufe abgearbeitet:
 - Übergang in eine so genannte Event Loop
 - Callbacks aus Event Queue abgearbeitet
 - Event Queue leer: Programm beendet

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



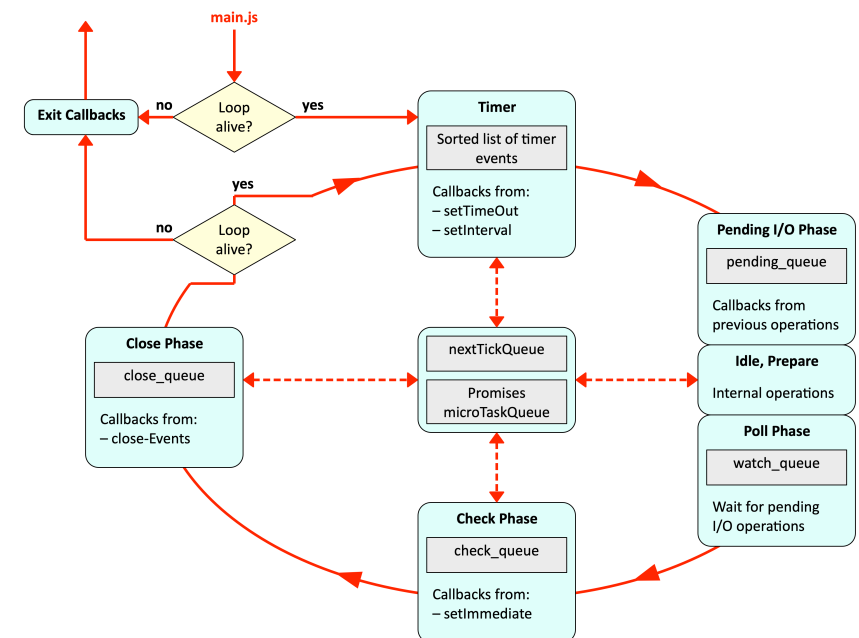
<http://latentflip.com/loupe/>

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

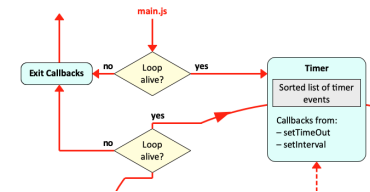
- Einfaches Modell der Event Loop entspricht nicht der Realität
- Es genügt, um viele, aber nicht alle Situationen zu erklären
- Ein paar Richtigstellungen
 - Event Loop ist nicht Teil der JS-Engine sondern steuert diese
 - Es gibt mehrere Queues
 - Die Event Loop läuft nicht in einem separaten Thread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

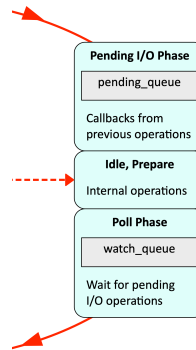
SETINTERVAL

- 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

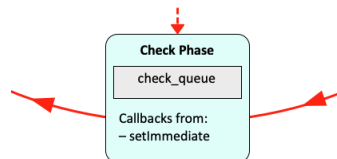


EVENT LOOP: POLL PHASE

- 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

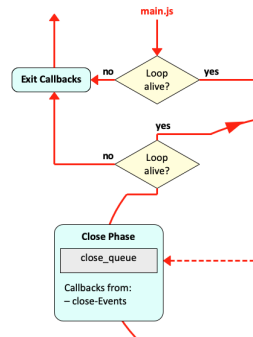


SETIMMEDIATE

- 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')  
})
```

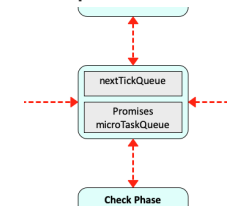

EVENT LOOP: CLOSE PHASE



- 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

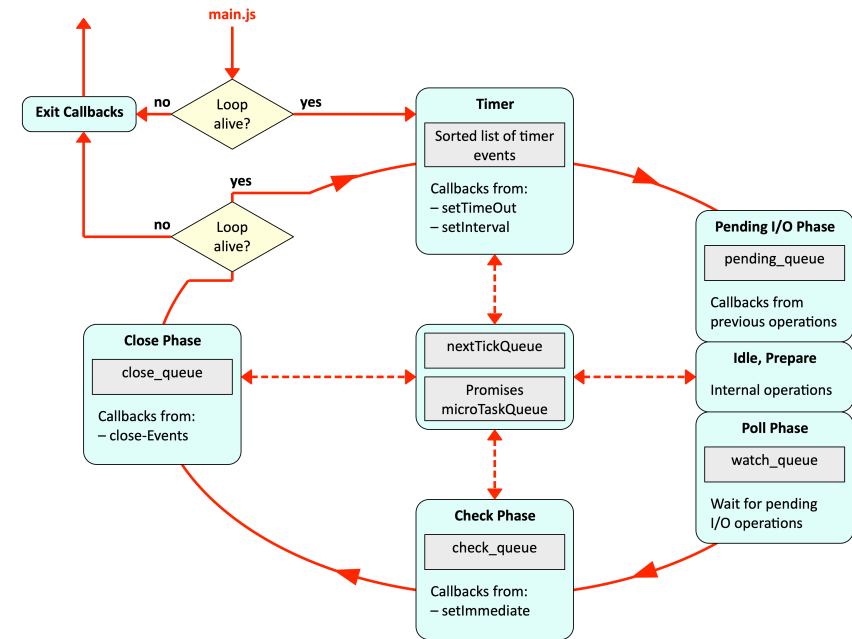
```
setTimeout(() => {  
  console.log('timeout1')  
  Promise.resolve().then(() => console.log('promise resolve'))  
})  
setTimeout(() => console.log('timeout2'))
```

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

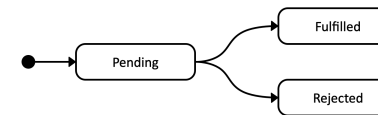
FUNKTION MIT PROMISE

- 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.error("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.error('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'))
```

ARRAY VON PROMISES VERKNÜPFEN

- `Promise.all()`
 - Erfüllt mit Array der Resultate, wenn alle erfüllt sind
 - Zurückgewiesen sobald eine Promise zurückgewiesen wird
- `Promise.race()`
 - Erste erfüllte oder zurückgewiesene Promise entscheidet
- `Promise.any()`
 - Erfüllt sobald eine davon erfüllt ist
 - Zurückgewiesene Promises werden ignoriert
 - `AggregateError`, wenn alle Promises zurückgewiesen

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.error("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.error("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/>

