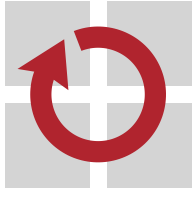
Web-basierte Systeme

08: Architektur moderner Browser

Wintersemester 2022

Rüdiger Kapitza



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Architektur moderner Browser

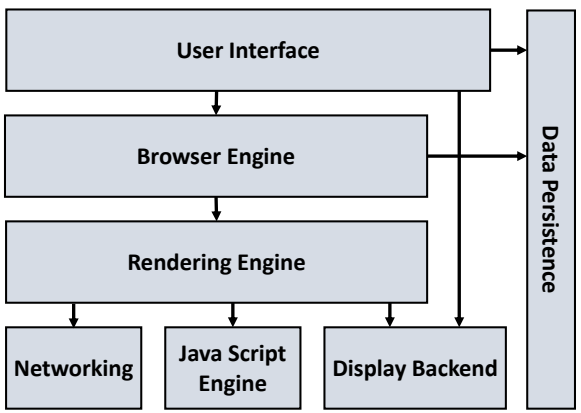
Vorlesungsplan

2. November	Einführung und Darstellung von Webseiten (HTML und CSS)
9. November	Hypertext Transfer Protocol
16. November	Browser Schnittstellen
23. November	Kommunikationsschnittstellen im Browser
30. November	WebAssembly
7. Dezember	**Architektur moderner Browser**
14. Dezember	Clientseitige Architekturmuster
21. Dezember	Vorbereitung Papieranalyse
11. Januar	Papieranalyse
18. Januar	Serverseitige Implementierung von Web-basierten Systemen
25. Januar	Caching bzw. Lastverteilung durch Zwischenspeicher
1. Februar	Thema noch offen – wahrscheinlich WebRTC
8. Februar	Zusammenfassung und Ausblick

Architektur moderner Browser

Zielsetzung der Lerneinheit

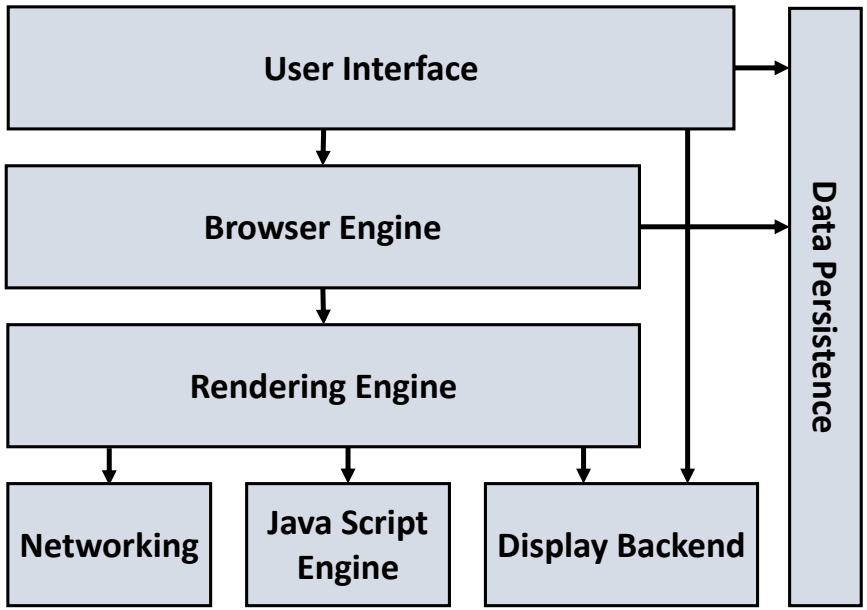
- Allgemeines Verständnis für die Architektur eines Browsers
- Verständnis für Fusion von HTML, CSS und JS zu einem Layout
- Kennenlernen von Systemansätzen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit & Sicherheit von Browsern
  - Beispiel: Chromium



Architekturüberblick

Generische Softwarearchitektur eines Browsers

- Vgl. *A Reference Architecture for Web Browsers (von 2005!)* [2]
- Arbeit stellt eine generische Softwarearchitektur vor welche durch Analyse verschiedener Browser erarbeitet wurde



Architekturüberblick

User Interface

- Schicht zwischen Nutzer und der Engine des Browsers
- Stellt die Oberfläche bereit: Toolbar, Rahmen mit Fortschrittsanzeige, Masken für Einstellungen, usw.
- Nicht selten Einbettung in den Desktopmanager des Systems

Architekturüberblick

Browser Engine

- Implementiert Basisfunktionen des Browsers und stellt eine Schnittstelle zur Rendering Engine bereit
- Basisfunktionen sind bspw.: Laden einer URI, Navigieren im Verlauf der bisher aufgesuchten Seiten oder das erneute Landen einer Seite
- Schnittstelle zum Abfragen weiterer Informationen einer Sitzung
  - Bspw.: Fortschritt bzgl. der aktuell zu ladenden Seite oder Warnungen der JavaScript Engines
- Schnittstelle um den Zustand der Rendering Engine abzufragen, sowie Einstellungen an diesem vorzunehmen

Architekturüberblick

Rendering Engine

- Zuständig für die Darstellung einer HTML Seite unter Anwendung von CSS und der Integration von Grafiken
- Es wird das genaue Layout festgelegt (Positionierung aller Elemente) und dieses erneuert, wenn weitere Informationen vorliegen
- Zentrale Komponente der Rendering Engine sind HTML- und CSS-Parser

Architekturüberblick

Networking

- Unterstützung für den Transfer von Daten via HTTP(S) (und FTP)
- Konvertierung zwischen Zeichensätzen, sowie Unterstützung für MIME media Typen
- Evtl. Unterstützung für die Zwischenlagerung aktueller Daten

Architekturüberblick

JavaScript Interpreter

- Unterstützung für JavaScript (ECMAScript)
- Interaktion mit der Rendering Engine

XML Parser

- Ursprünglich ein separates Architekturelement heute wohl subsumiert in anderen Komponenten

Architekturüberblick

Display Backend

- Stellt Grafikprimitive bereit
- Schnittstellen zum Desktopmanager und dem Betriebssystem
  - Bspw.: Look & Feel unter Linux vs. Windows und Schrifttypen

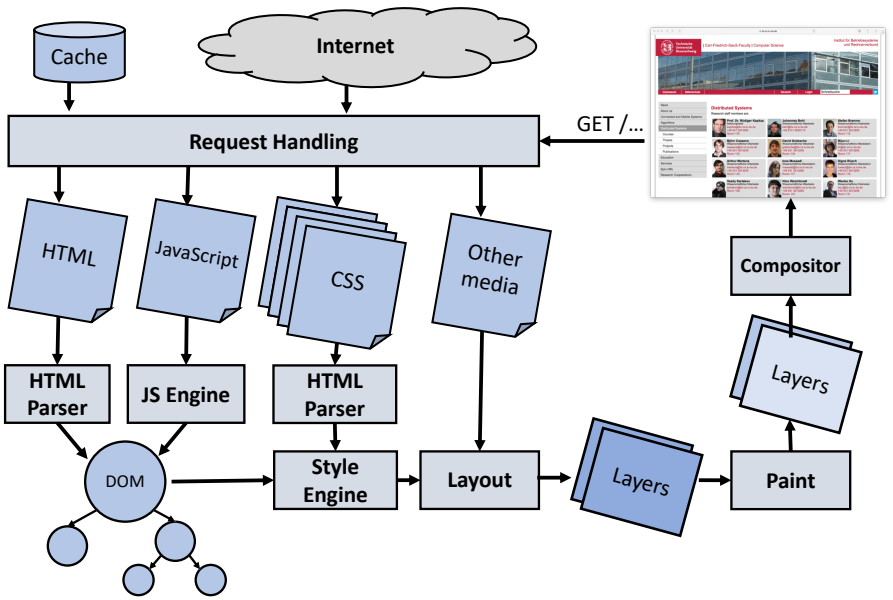
Data Persistence

- Verwaltung der Daten während einer Session
- Andere Verwaltungsdaten: Lesezeichen, Einstellung der Oberfläche
- Zwischenspeicher (Cache)
- Sicherheitsinformationen: Zertifikate etc.

Architekturüberblick (Firefox Quantum)

Architekturüberblick mit Fokus auf Firefox Quantum

- Entwicklerblog welcher die Funktionsweise von Quantum beschreibt [1]
- *Achtung:* Artikel diskutiert die *Browser Engine* – im Sinne von [2] entspricht dies aber *eher* der Rendering Engine



[1] https://hacks.mozilla.org/2017/05/quantum-up-close-what-is-a-browser-engine

Architekturüberblick (Firefox Quantum)

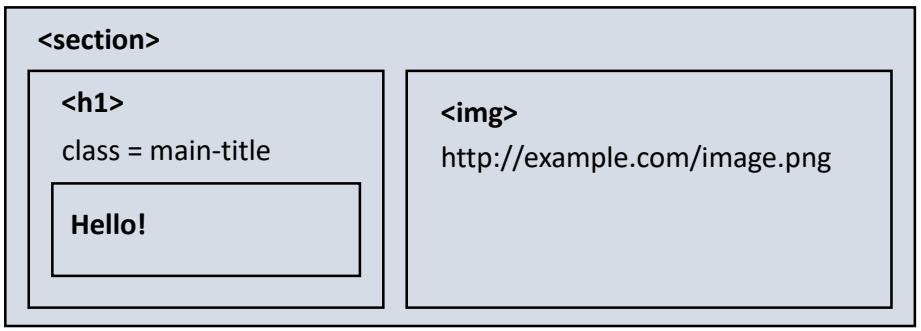
Vereinfachter Ablauf: Laden und Parsen

- Daten werden durch das Request Handling-Modul geladen
  - HTML, Grafiken, CSS und JavaScript
- HTML-Parser wandelt HTML-Dokumente in einen Document Object Model (DOM)-Knoten – einem sogenannten Inhaltsbaum um
- Andere im HTML enthaltende Style-Daten und Skripte werden ebenfalls geladen und weiterverarbeitet
- Skripte können im Prinzip die Seitenstruktur und Style-Daten verändern bevor ein HTML-Dokument vollständig geparst wurde

Architekturüberblick (Firefox Quantum)

Vereinfachter Ablauf: Laden und Parsen

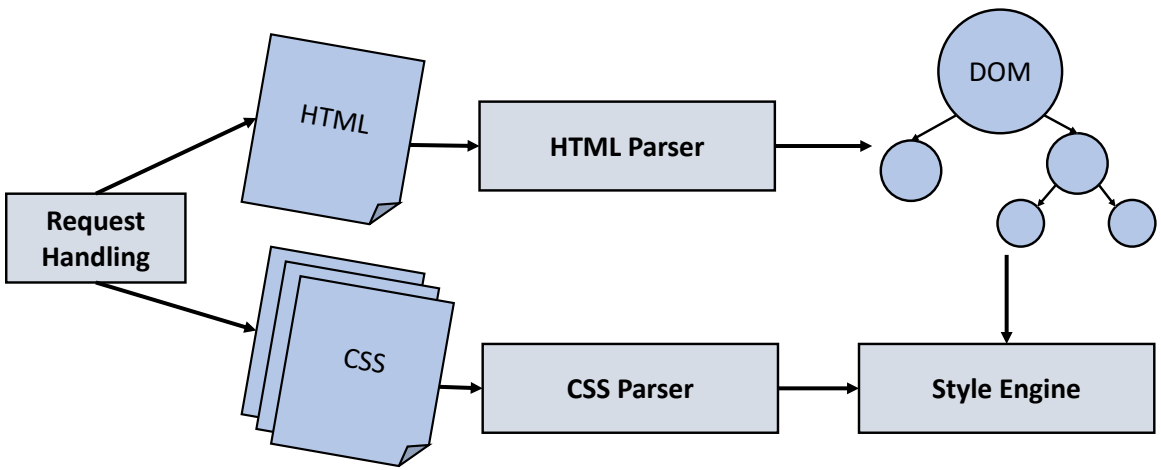
```
1  <section>
2   <h1 class="main-title">Hello!</h1>
3   <img src="http://example.com/image.png">
4  </section>
```



Architekturüberblick (Firefox Quantum)

Vereinfachter Ablauf: Verarbeitung von CSS

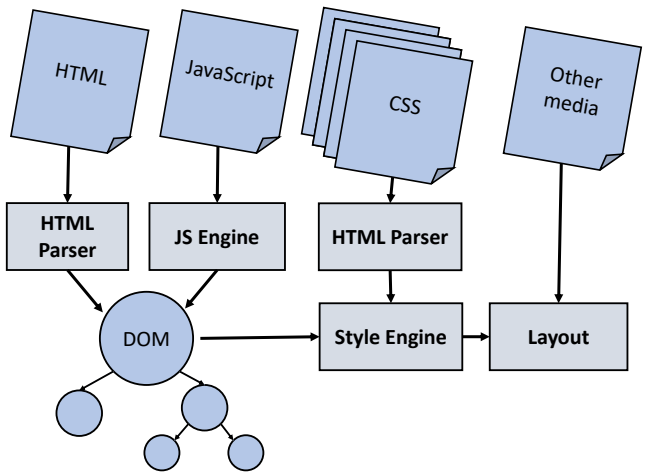
- Style-Anweisungen werden ebenfalls geparst und auf den DOM angewendet, dies übernimmt die *Style Engine*
- Sind alle Style-Anweisungen ausgeführt worden spricht man von einen *computed style*
  - Wirken mehrere Anweisungen auf ein Element, so überschreibt die zuletzt angewendete Abweisungen die vorherigen



Architekturüberblick (Firefox Quantum)

Vereinfachter Ablauf: Erzeugen des Layouts

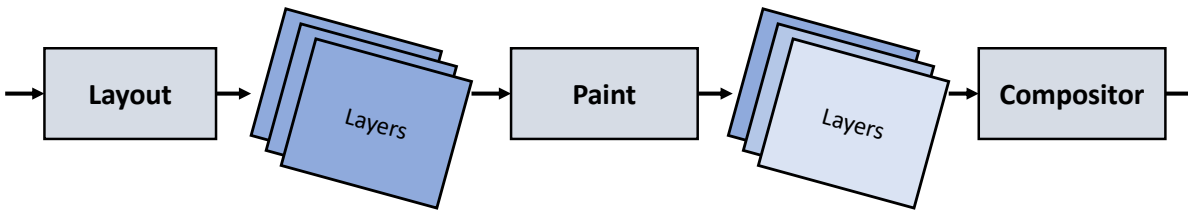
- DOM und ermittelte Style-Anweisungen werden an die Layout Engine übergeben
- Die Layout Engine berechnet das Layout basierend auf der gegebenen Fenstergröße
- Dabei wird jedes Element einzelnd betrachtet, entsprechend dimensioniert und alle Style-Anweisungen angewendet



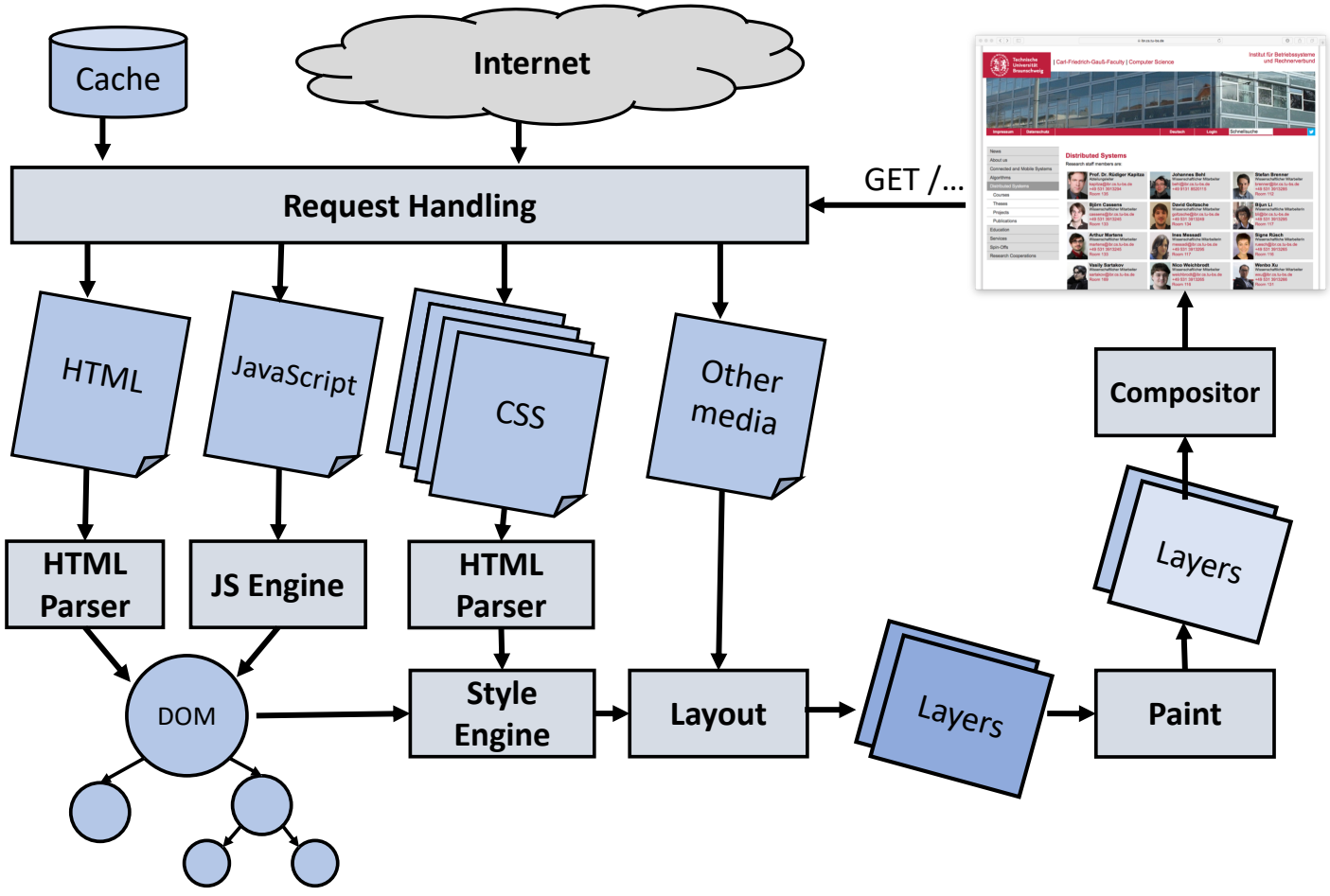
Architekturüberblick (Firefox Quantum)

Vereinfachter Ablauf: Darstellung im Browser

- Im finalen Schritt werden die berechneten Elemente mit allen Informationen dargestellt und die Seite wird für den Nutzer sichtbar
- Wenn der Nutzer den sichtbaren Bereich der Seite verändert muss neu gezeichnet werden
  - Tatsächlich passiert dies relativ häufig und Browser berechnen entsprechend mehr als den Viewport um schnell reagieren zu können



Architekturüberblick (Firefox Quantum)



Mehrprozessbrowserarchitektur & Isolation von Webanwendungen

Motivation

- Browser werden immer komplexer
- Webanwendungen nehmen ebenfalls in der Komplexität zu!
  - Beispiel: Single Page Applications (SPAs) und Progressive Web Applications (PWAs)
- Fehler in Browsern und Angriffe sind an der Tagesordnung
- Bedarf nach einer möglichst widerstandsfähigen Browser-Architektur

Ausgangspunkt

- Frühere Browser wurden als *Monolithen* konzipiert!
- Alle Architekturkomponenten haben vollen Zugriff
  - bspw. auf das Dateisystem
- Fehler können zum Absturz des gesamten Browsers führen
- Schlecht Isolation auch bezgl. Performance

Mehrprozessbrowserarchitektur & Isolation von Webanwendungen

Zielsetzung für die Mehrprozessarchitektur von Chromium

- Etablieren von Abstraktionen zur besseren Isolation der einzelnen Komponenten eines Browsers
- Isolationskonzepte müssen mit den existierenden Systemannahmen so kompatibel wie möglich sein
- Eine Mehrprozessarchitektur bietet bessere Sicherheit, Fehlertoleranz, Ressourcenverwaltung und Ausführungsgeschwindigkeit

Literatur

- *The Security Architecture of the Chromium Browser* [1]
- Weiterführende Details: `https://www.chromium.org/developers/design-documents/multi-process-architecture`
- *Isolating Web Programs in Modern Browser Architectures* [3]
- Weiterführende Details: `https://www.chromium.org/developers/design-documents/site-isolation`

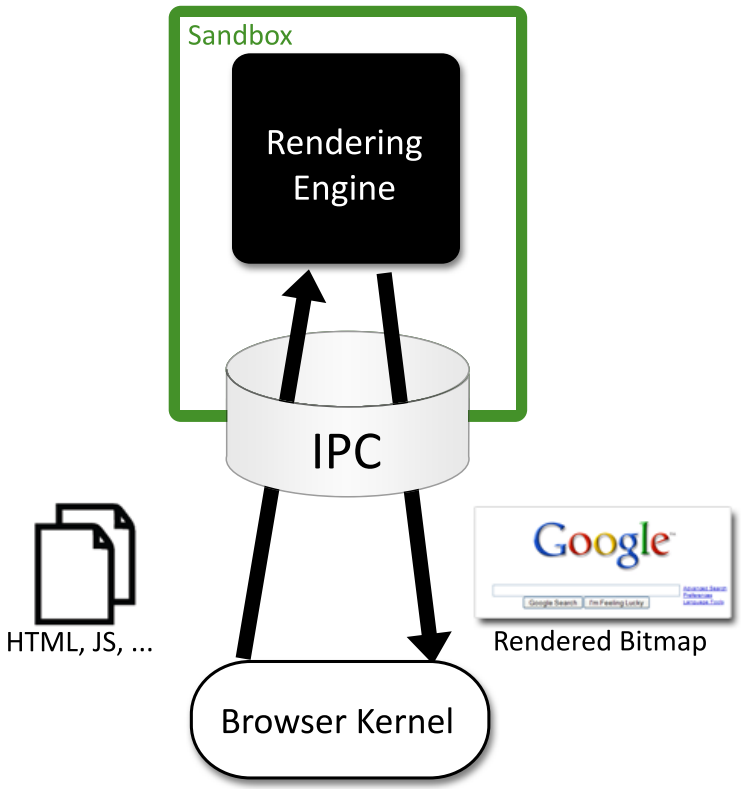
Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Angreifermodel

- Entfernter Angreifer, der eine Lücke im Code des Browsers kennt
- Zur Ausnutzung der Lücke muss der Angreifer den Benutzer dazu bringen einen entsprechenden Schadcode zu laden
- Ziele des Angreifers
  - Installation von Schadsoftware wie bspw. auch Keylogger
  - Entwenden von wichtigen Daten/Dateien
- Angriffe die nicht betrachtet werden, weil sie nicht durch die Mehrprozessarchitektur adressiert sind
  - Phishing und Schwachstellen in Webanwendungen (z.B. für cross-site scripting (XSS))

Architekturüberblick

- Architektur wie um 2008 etabliert vgl. [1]



Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Funktionsaufteilung

- Rendering Engine
  - HTML/XML/XSLT/CSS parsing, Bilder dekodieren, SVG, Document Object Model (DOM), JavaScript Interpreter
  - Sonstiges: regulärer Ausdrücke
- Browser Engine
  - Verwaltung von persistenten Information
  - Zugriff auf native Grafikelemente bzw. den Fenstermanager
  - Oberfläche des Browsers (z.B. Location Bar)
  - Netzwerkfunktionen
  - *Achtung:* Die Browser Engine ist wesentlich weiter gefasst als in [2]
- Gemeinsame Funktionen
  - URL und Unicode parsing

Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Ziel der Aufteilung

- Rendering Engine enthält komplexen Code der Webanwendungen ausführt und eher fehleranfällig ist
- Browser Engine sammelt vor allem Code der direkt auf das System zugreifen darf

Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Sandbox

- Nimmt der Rendering Engine sämtliche Rechte um direkt auf das System zuzugreifen
- Stattdessen wird die Schnittstelle der Browser Engine für alle wichtigen externen Aufrufe genutzt

IPC (Inter-Process Communication)

- Schneller und effizienter Austausch zwischen Browser Engine und Rendering Engine
- Low-level IPC – ursprünglich über asynchrone *named pipes* realisiert
- (Mittlerweile eignes System Mojo welches auf verschiedene Subsystem abgebildet werden kann (z.B. Unix domain sockets)) [2]

[2] `https://chromium.googlesource.com/chromium/src/+/master/mojo/README.md`

Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Granularität der Aufteilung

- Vereinfacht kann (vorerst) angenommen werden das jedes *Fenster*/*Tab* einer eigenen Rendering Engine Instanz entspricht
- Auch gibt es wichtige Informationen, wie bspw. Fehlermeldungen zu HTTPS Zertifikaten oder Warnungen von Phishing-Versuchen, diese werden ebenfalls in einer eigenen Instanz erzeugt
- Ausnahmen gibt es bei Warnung zu dedizierten Seiteninhalten, diese werden in der bearbeitenden Rendering Engine erzeugt

Externe Hilfsprogramme (Plug-ins)

- Hilfsprogramme werden als eigener Prozess betrieben (evtl. auch in einer Sandbox)
- Es gibt in der Regel nur eine Instanz

Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Schnittstelle der Browser Engine

- Rendering
  - Alles wird gezeichnet und dann an die Browser Engine übergeben
  - Browser Engine übergibt die Bilddaten an die entsprechenden Grafikschnittstellen zur Darstellung
  - Im Rahmen der IPC bedeutet dies einen zusätzlichen Kopiervorgang (!)
- Benutzereingaben
  - Alle Benutzereingaben werden vom Betriebssystem an die Browser Engine übergeben
  - Browser Engine wertet Eingaben entweder direkt aus oder gibt sie je nach Fokus an die Rendering Engine
  - Rendering Engine erhält nur Ereignisse die sich direkt an die ausgeführte Webanwendung richten

Sicherheitsarchitektur des Chromium Browsers

Schnittstelle des Browser Engine (Fortsetzung)

- Persistenter Speicher
  - Aufgabe der Sandbox ist es zu erzwingen, dass die Rendering Engine (speziell im Fall einer Übernahme) nicht auf Dateien zugreifen kann
  - Entsprechende durch die Browser Engine initiierte Dialogfenster informieren den Nutzer über Up- und Downloads.
  - Im Falle von Downloads wird die Ablage von Dateien vorselektiert bspw. ein Standardablageverzeichnis
  - Zielsetzung ist zu verhindern das Dateien überschrieben werden oder ein Ablage an kritischen Stellen erfolgen kann

Schnittstelle des Browser Engine (Fortsetzung)

- Netzwerk
  - Jeglicher Netzwerkverkehr wird durch die Browser Engine abgewickelt
  - Rendering Engine stellt entsprechende Anfragen an den Browser Engine
    - Handelt es sich um Protokolle wie `http(s)` und `ftp` lädt die Browser Engine die Daten und übergibt sie an die Rendering Engine
    - Bei `file` wird typischerweise blockiert, da die Rendering Engine sonst Zugriff auf das Dateisystem erlangt
    - Ausnahme wenn der Benutzer bspw. über die Location Bar explizit eine solche URL eingibt. In diesem Fall wird die URL über separate Rendering Engine Instanz abgewickelt

Evaluation

- Wirksamkeit wird überprüft mit Hilfe der Betrachtung von *Common Vulnerabilities and Exposures (CVE)*[3]
- Betrachtung von CVEs zwischen Juli 2007 und Juli 2008 für den Internet Explorer, Firefox und Safari
- Frage: Welche der veröffentlichten Schwachstellen können durch die vorgeschlagene Architektur vermieden werden?
  - Antwort: 38 von 87 der Rendering Engine zugeordneten Schwachstellen welche zur Ausführung von beliebigen Code geführt haben können verhindert werden
  - Dies entspricht 70.4% (38 von 54) von allen Schwachstellen welche zur Ausführung von beliebigen Code geeignet sind
- Mehr Details im technischen Bericht [1]

[3] https://cve.mitre.org

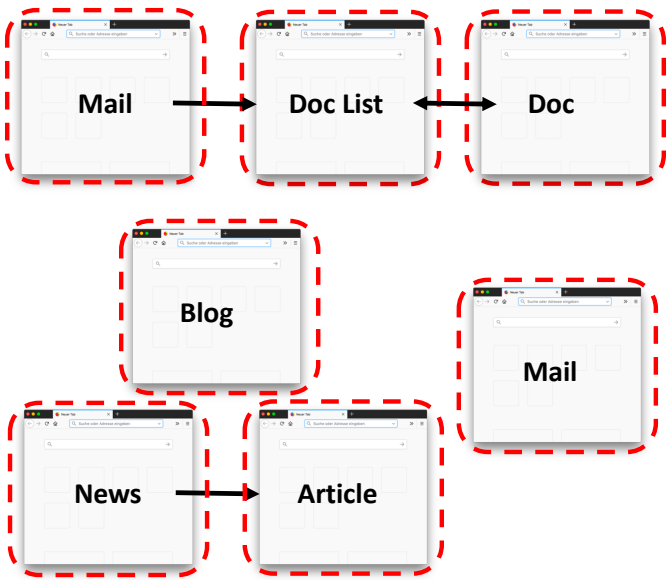
Isolation von Webanwendungen

- Im Kontext eines Browsers werden verschiedene unabhängige Webanwendungen ausgeführt
- Wie kann man komplexe Webanwendungen auf eine Mehrprozessbrowserarchitektur abbilden?
- In der Vergangenheit alle Anwendungen in einem Prozess!

Isolation von Webanwendungen

Naiver Vorschlag

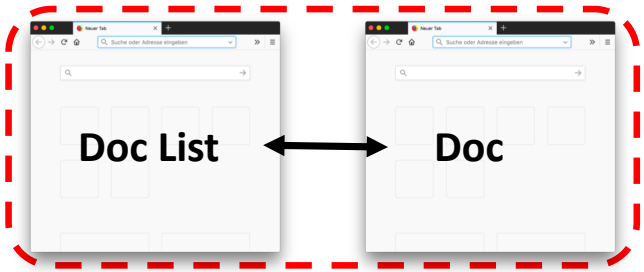
- Jedes Fenster/Tab erhält seinen eigenen Prozess
- Bricht Annahmen typischer Webanwendungen, welche Daten *miteinander* austauschen!
  - Gegenseitiger Zugriff auf den DOM nicht mehr möglich



Isolation von Webanwendungen

Zielsetzung

- Entwicklung einer Abstraktion welche Webprogramme identifizierbar macht und eine Isolation ermöglicht
- Gruppierung von zusammengehörigen Fenstern
  - Sollte den intuitiven Annahmen entsprechen
  - Kompatible zu existierenden Webanwendungen sein
- Idee: Ausnützen von existierenden Informationen
- Gruppierte Fenster sollen durch einen Prozess ausgeführt werden



Isolation von Webanwendungen

Annäherung durch eine *ideale* Abstraktion

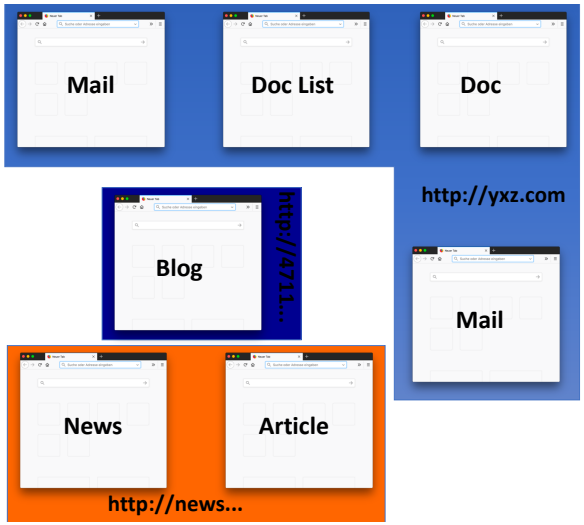
- **Webanwendung** (Web Program)
  - Menge von zusammengehörigen Seiten und zugeordneten Ressourcen die einen Dienst implementieren
- **Instanz einer Webanwendung** (Web Program Instance)
  - Eine laufende Instanz einer Webanwendung in einem Browser
  - Isolation erfolgt mit Unterstützung der Browserarchitektur

- Wie kann man das nun konkret umsetzen?

Isolation von Webanwendungen

Isolation auf Grund des Website

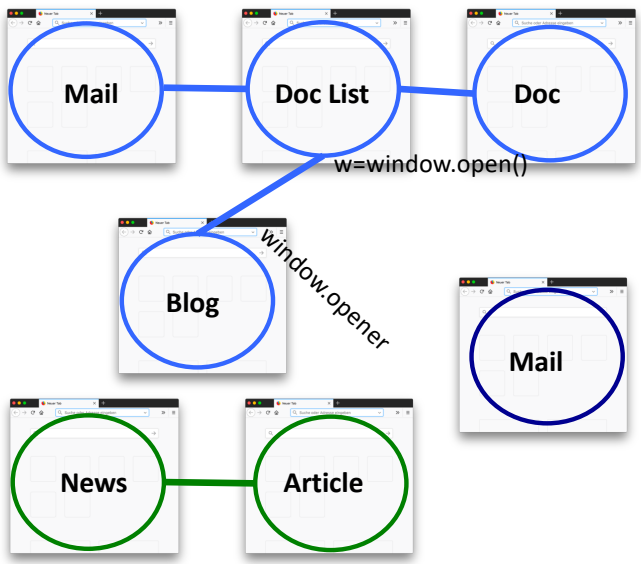
- *Same Origin Policy* erzwingt schon jetzt eine gewisse Isolation basierend auf Host, Protokoll und Portnummer
- Achtung: Webseiten können `document.domain` verändern (gilt nur für sehr alte Browser)
- Beschränkung nur im Rahmen des Domänennamen
- Website ist durch den Domänennamen, Protokoll und Port definiert



Isolation von Webanwendungen

Browsing Instanzen

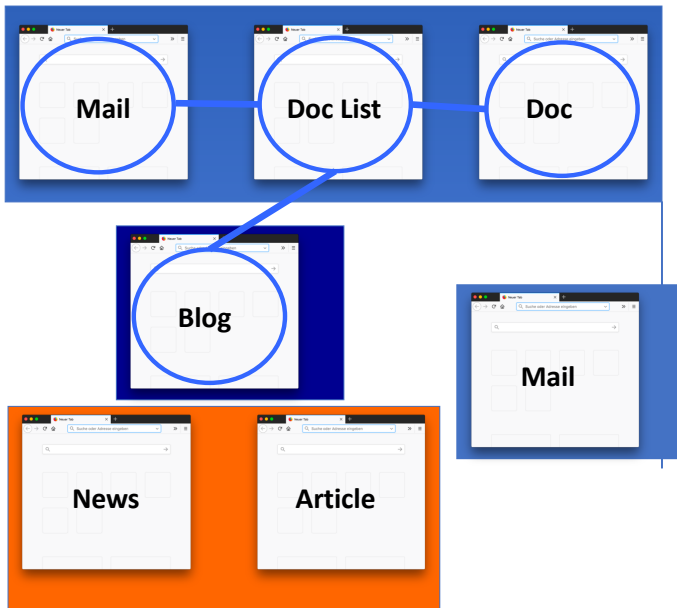
- Referenzen zwischen *verwandten* Fenstern
  - Eltern/Kind Relation durch `window.open()`
    - Zugriff auf den DOM der geöffneten Seite
  - Lebenszyklus eines Fensters
- Browsing Instanzen: Verbindung von Fenstern unabhängig vom Website



Isolation von Webanwendungen

Website Instanzen

- Schnittmenge von Website und Browsing Instanz
- Ermöglicht sichere Isolation von anderen Seiten
- Bildet eine kompatible Variante einer Webanwendung



Evaluierung

- Performance Isolation
  - Im Vergleich zu einem monolithischen Konfiguration reagiert der Browser unter Last viel schneller auf einen Klick
  - Verbesserte Geschwindigkeit durch Ausnutzung von Mehrkernsystemen
- Erzeugung eines Prozesses (100ms) ist bzgl. der Laufzeit nicht relevant
- Speicherbedarf nimmt spürbar zu, ist aber zu erwarten und ein akzeptabler Kompromiss

Zusammenfassung

- Browser bestehen aus einer Vielzahl von komplexen Komponenten
  - Speziell die Rendering Engine ist kritisch, da sie entscheidet ob Webseiten einheitlich dargestellt werden
  - Aktuell gibt es wenige Kernsysteme die von verschiedenen Browsern genutzt werden (z.B. Webkit, Blink und Gecko)
- Ähnlich zu Betriebssystemen haben sich Mehrprozessarchitekturen auch bei Browsern durchgesetzt
  - Gründe sind Sicherheit, Fehlertoleranz aber auch Leistung
  - Weitere Informationen: Site Isolation: Process Separation for Web Sites within the Browser

    `https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity19/presentation/reis`
- Betrachtete Architekturaspekte kratzen lediglich an der Oberfläche
  - Bspw. sind die internen Abläufe komplexer als dargestellt

Literatur

[1] Adam Barth et al. *The Security Architecture of the Chromium Browser*. Jan. 2008.

[2] Alan Grosskurth und Michael W. Godfrey. “A Reference Architecture for Web Browsers”. In: *Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Software Maintenance*. ICSM ’05. IEEE Computer Society, 2005, S. 661–664.

[3] Charles Reis und Steven D. Gribble. “Isolating Web Programs in Modern Browser Architectures”. In: *Proceedings of the 4th ACM European Conference on Computer Systems*. EuroSys ’09. Nuremberg, Germany: ACM, 2009, S. 219–232.