

px: PEAX Command Line Client

Wirtschaftsprojekt, Herbstsemester 2019

Patrick Bucher

17. November 2019

Abstract

Die Software px ist ein Kommandozeilenprogramm, das den Zugriff auf die API von PEAX für Benutzer mit einem technischen Hintergrund vereinfachen soll. PEAX ist ein digitaler Briefkasten, womit Endanwender ihre Post über verschiedene Kanäle empfangen und in einem komfortablen Web-Portal verwalten können. Mit px soll der direkte Zugriff auf die RESTful API, d.h. ohne Verwendung des Webportals, vereinfacht werden, indem die Handhabung von Tokens (Access Token, Refresh Token) abstrahiert wird, und dem Benutzer eine Reihe intuitiv bedienbarer Befehle für das Ansteuern verschiedener Endpoints zur Verfügung gestellt wird.

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	4
1.1	Analyse des Projektauftrags	4
1.1.1	Endpoints	4
1.1.2	HTTP-Methoden	4
1.1.3	HTTP Status-Codes	5
1.1.4	OAuth 2.0	6
1.1.5	Umgebungen	7
1.1.6	Arten von Parametern	8
1.1.7	Benutzer	9
1.1.8	Betriebssysteme	9
1.1.9	Shells	10
1.2	Risikoanalyse	10
2	Stand der Praxis	12
2.1	Ansprechen der PEAX API	12
2.1.1	Postman	12
2.1.2	cUrl	13
2.1.3	httpie	14
2.2	Kommandozeilenprogramme	14
2.3	Ausgangslage und Vorleistungen	15
3	Ideen und Konzepte	17
3.1	Befehlsstruktur von px	17
3.1.1	Generische Befehle für Entwickler	17
3.1.2	Spezifische Befehle für Prototypen	17
3.2	Token Store	17
3.3	Token Refresh	17
4	Methoden	18
4.1	Vorgehen	18
4.2	Teststrategie	19
4.2.1	Q1: automatisiert	19
4.2.2	Q2: automatisiert und manuell	20
4.2.3	Q3: manuell	21

Inhaltsverzeichnis

4.2.4	Q4: Tools	22
5	Realisierung	24
5.1	Architektur	24
5.2	Zwei-Faktor-Authentifizierung	25
5.3	Retry-Mechanismus	25
5.4	Token Store	28
5.4.1	Fremdkomponente zalando/go-keyring	28
6	Evaluation und Validierung	29
6.1	Rückmeldungen von Entwicklern	29
6.1.1	Sprint 1	29
6.1.2	Sprint 2	30
7	Ausblick	33
7.1	Backlog	33
7.2	Weiterentwicklung	33
7.3	Open Source	33
7.4	API-Aktualisierung	33
8	Anhang	34
8.1	Systemspezifikation	34
8.1.1	Systemkontext	34
8.2	Technologie-Evaluation	36
8.2.1	Programmiersprache	36
8.2.2	GO	37
8.2.3	RUST	38
8.2.4	Entscheidung	39
8.3	Libraries	40
8.4	Weitere Dokumente	40
	Glossar	41
	Literatur	42
	Abbildungsverzeichnis	44
	Verzeichnis der Codebeispiele	45

1 Problemstellung

Die Problemstellung setzt sich einerseits aus dem gestellten Projektauftrag (siehe Anhang) und andererseits aus der damit implizierten Umgebung (Systeme, Technologien, Benutzer, etc.) zusammen (siehe dazu auch Abschnitt 8.1.1 *Systemkontext*, Seite 34).

1.1 Analyse des Projektauftrags

Der Projektauftrag beschreibt einen Command Line Client für eine RESTful API. In diesem Zusammenhang gibt es Aspekte aus folgenden Bereichen zu analysieren:

Technologien das Protokoll HTTP und der Authentifizierungsmechanismus OAuth 2.0

Server-Umgebungen die Umgebungen, die eine PEAX API anbieten

Client-Umgebungen die Benutzer, ihr Betriebssystem und ihre Kommandozeile

1.1.1 Endpoints

Eine RESTful API besteht aus einer Reihe sogenannter *Endpoints*, d.h. Pfade zu Ressourcen, die abgefragt und/oder manipuliert werden können. Aus Platzgründen soll hier nicht auf einzelne Endpoints eingegangen werden. Beispielhaft erwähnenswert sind aber etwa der Token-Endpoint, bei welchem der Benutzer im Austausch seiner Credentials (Benutzername, Passwort und optionaler zweiter Faktor) ein *Token Pair* holen kann; und der Document-Endpoint, auf welchem Dokumente hochgeladen werden können.

1.1.2 HTTP-Methoden

Ein Endpoint kann über eine oder mehrere HTTP-Methoden angesprochen werden (R. Fielding & Reschke, 2014, Abschnitt 4.3). Im Kontext der PEAX API sind folgende Methoden relevant:

- GET: Erfragt eine Repräsentation einer bestimmten Ressource; greift nur lesend auf diese zu.
- HEAD: Analog zu GET, es wird jedoch nur der Header und nicht der Body der Ressource übertragen.
- POST: Übermittelt eine Ressource zur Speicherung oder Manipulation einer bestehenden Ressource.

- PUT: Ersetzt eine bestehende Ressource durch den mitgeschickten Payload.
- DELETE: Löscht eine Ressource.
- OPTIONS: Beschreibt die Kommunikationsoptionen für eine bestimmte Ressource, wird etwa für CORS Pre-Flight Requests eingesetzt (Mozilla Developer Network, o. J.).
- PATCH Führt eine partielle Modifikation auf eine bestimmte Ressource aus (Dusseault & Snell, 2010). Die Modifikation wird in der Form *JavaScript Object Notation (JSON) Patch* durchgeführt (P. Bryan, 2013).

1.1.3 HTTP Status-Codes

Eine Antwort auf eine HTTP-Anfrage enthält jeweils einen Status-Code (R. Fielding & Reschke, 2014, Abschnitt 6). Bei der PEAX API kommen u.a. folgende Status-Codes häufig zum Einsatz:

- 200 OK: Die Anfrage hat funktioniert.
- 201 Created: Die Anfrage hat funktioniert, und dabei wurde eine neue Ressource erzeugt.
- 204 No Content: Die Anfrage konnte ausgeführt werden, liefert aber keinen Inhalt zurück (etwa in einer Suche mit einem Begriff, zu dem keine Ressource gefunden werden kann).
- 204 Partial Content: Der zurückgelieferte Payload repräsentiert nur einen Teil der gefundenen Informationen. Wird etwa beim Paging eingesetzt.
- 400 Bad Request: Die Anfrage wurde fehlerhaft gestellt (ungültige oder fehlende Feldwerte).
- 401 Unauthorized: Der Benutzer ist nicht autorisiert, d.h. nicht eingeloggt im weitesten Sinne (fehlende Authentifikation).
- 403 Forbidden: Der Benutzer ist zwar eingeloggt, hat aber keine Berechtigung mit der gewählten Methode auf die jeweilige Ressource zuzugreifen (fehlende Autorisierung).

- 404 Not Found: Die Ressource wurde nicht gefunden; deutet auf eine fehlerhafte URL hin.
- 405 Method Not Allowed: Die Ressource unterstützt die gewählte Methode nicht.
- 415 Unsupported Media Type: Das Format des mitgelieferten Payloads wird nicht unterstützt. In der PEAX API sind dies etwa Dokumentformate, die beim Hochladen nicht erlaubt sind (z.B. .exe-Dateien).
- 500 Internal Server Error: Obwohl die Anfrage korrekt formuliert und angenommen worden ist, kommt es bei der Verarbeitung derselben zu einem serverseitigem Fehler.¹
- 380 Unknown: Dieser Status ist nicht Teil der HTTP-Spezifikation, wird aber nach einem Login-Versuch verwendet, wenn eine Zwei-Faktor-Authentifizierung (SMS-Code, Time-Based One Time Password) verlangt wird, und ist somit für die vorliegende Arbeit von hoher Relevanz.

1.1.4 OAuth 2.0

Im Hinblick auf das Wirtschaftsprjekt hat sich der Autor dieser Arbeit bereits im Vorsemerster im Rahmen des Moduls *Computer Science Hot Topics* (INFKOL) mit dem Thema OAuth 2.0 befasst (Bucher & Christensen, 2019). Detaillierte Informationen zu OAuth 2.0 können diesem Paper und v.a. den dort zitierten Primärquellen entnommen werden.

An dieser Stelle sollen nur die Grundlagen beschrieben werden, die dann im Umsetzungsteil (siehe Abschnitt 5 *Realisierung*, Seite 24) bei Bedarf vertieft werden.

Bei einem Login-Vorgang mit OAuth 2.0 sendet der Benutzer seine Credentials (Benutzername, Passwort, optionaler zweiter Faktor wie SMS-Code) an den Token-Endpoint eines *Identity Providers* (IDP). Stimmen diese Angaben mit den Informationen auf dem IDP überein, erhält der Benutzer ein *Token Pair* bestehend aus *Access Token* und *Refresh Token*. Der Access Token dient zum Zugriff auf eine geschützte Ressource und ist in der Regel kurzlebig. (Bei PEAX läuft er nach fünf Minuten ab.) Mithilfe des Refresh Tokens kann

¹In der PEAX API kommt es gelegentlich zu solchen Fehlern, die stattdessen mit dem Status 400 Bad Request und einer aussagekräftigen Fehlermeldung beantwortet werden müssten. Wird z.B. bei der Einlieferung von Dokument-Metadaten zu einer Rechnung eine syntaktisch fehlerhafte IBAN mitgegeben, tritt der Fehler erst bei der internen Verarbeitung, und nicht schon bei der Validierung der Anfrage auf. Hier besteht Handlungsbedarf aufseiten der Backend-Entwicklung.

der Benutzer einen neues Token Pair vom IDP anfordern. Der Refresh Token ist darum langlebiger (30 Minuten bei PEAX).

Werden die Tokens jeweils vor Ablauf dieser Zeitspanne aktualisiert, kann eine Session beliebig lange aufrecht erhalten werden (siehe Abschnitt 5.3 *Retry-Mechanismus*, Seite 25). Aufgrund der Handhabung dieser Tokens (sehr lange Base64-codierte Strings) ist das Ansteuern der PEAX API mit Programmen wie `curl` und `POSTMAN` sehr umständlich.²

Die Anfragen werden vom Client (d.h. Frontend – oder der hier beschriebene Command Line Client) nicht direkt an das Backend geschickt, sondern an einen Proxy-Server. Dieser entscheidet aufgrund der Anfrage, ob die Kombination aus Ressource und Methode einen gültigen Access Token benötigt.³

Der Access Token wird auf seine Gültigkeit geprüft; die Anfrage im Erfolgsfall an das Backend weitergeleitet. Die Prüfung, ob der mitgelieferte Access Token für die jeweilige Aktion über den richtigen Scope verfügt, wird teilweise vom Proxy-Server anhand des URL-Schemas (eindeutige PEAX ID des Benutzers im Ressourcenpfad) geprüft. Für andere Aktionen, v.a. im Backoffice-Bereich⁴, finden zusätzliche Scope-Prüfungen anhand von Benutzerattributen statt.

1.1.5 Umgebungen

Bei PEAX gibt es verschiedene Umgebungen oder «Stufen», welche den ganzen PEAX-Stack (Datenbank, Backend, Frontend, IDP, Proxy) für einen bestimmten Zweck zur Verfügung stellen:

- local** Die Entwickler können den PEAX-Stack zum Entwickeln und Testen lokal ausführen. Da diese Umgebung von jedem Entwickler selbständig aufgesetzt und konfiguriert wird, kann sie an dieser Stelle nicht genauer beschrieben werden.⁵
- dev** Dies ist das Entwicklungssystem, worauf die Entwickler ihre Änderungen deployen, sobald diese vom jeweiligen Feature-Branch in den develop-Branch gemerged wurden. Diese Umgebung ist tendenziell sehr aktuell, aber dafür auch instabil.

²Eine beispielhafte Analyse ergab, dass ein Access Token 1604 Zeichen lang ist. Refresh Token sind in der Regel etwas kürzer, da sie weniger Informationen zum Gültigkeitsbereich des Tokens enthalten.

³Eine POST-Anfrage auf den `account`-Endpoint, der zur Registrierung dient, benötigt etwa keinen Access Token, da man einen solchen vor der Registrierung noch nicht haben kann.

⁴Als *Backoffice* wird in diesem Zusammenhang nicht die Organisationseinheit, sondern die Web-Oberfläche zur Administration der PEAX-Anwendung verstanden.

⁵Aufgrund der unterschiedlichen lokalen Konfigurationen soll die lokale Umgebung im Rahmen dieser Arbeit nicht unterstützt werden.

- test** Auf diese Stufe werden Änderungen übertragen, die auf Stufe dev erfolgreich getestet werden konnten. Diese Umgebung wird vom Product Owner zur Abnahme von User Stories verwendet, ist in der Regel eher stabil und repräsentiert nach jedem Sprint einen potenziell releasefähigen Stand.
- stage** Diese Stufe dient für die Regressionstests. Hier wird nach jedem Sprint der letzte Stand von test übertragen. Bei einem Release wird der Stand von hier verwendet. Diese Umgebung ist stabil und jeweils maximal zwei Wochen alt.
- prod** Von stage werden die Änderungen mehrmals pro Jahr (Ziel: einmal pro Monat) auf die Produktivumgebung übertragen. Dies ist die einzige Umgebung, auf der produktive Kundendaten abgelegt werden. Datenschutz und Sicherheit spielen auf dieser Umgebung eine besonders hohe Rolle.
- devpatch** Dies ist die Entwicklungsumgebung für den Hotfix-Pfad. Nach einem Release wird der aktuelle Stand von prod auf diese Stufe deployed. Bis zum nächsten Release können hier dringende Fehlerkorrekturen vorgenommen werden.
- testpatch** Dies ist die Testumgebung für den Hotfix-Pfad. Dringende Fehlerkorrekturen werden von devpatch auf diese Stufe übernommen und hier abgenommen. Die Änderungen werden von hier aus direkt auf prod deployed.
- prototype** Hierbei handelt es sich um eine Umgebung, die sporadisch für Prototypen und Demos verwendet wird.
- perf** Diese Umgebung wurde vor dem grossen v3-Release im Frühling für Performance-Tests verwendet und ist seither nur sporadisch in Betrieb.

1.1.6 Arten von Parametern

Ein HTTP-Request hat verschiedene Parameter: Dies sind einerseits Header-Parameter, wie z.B. Content-Type, womit der MIME-Type der Request-Bodys festgelegt wird, oder Accept, womit dem Server mitgeteilt wird, welcher MIME-Type der Response-Body haben soll (R. T. Fielding et al., 1999).

Auch in der Authentifizierung und Autorisierung spielen Request-Header eine wichtige Rolle, zumal Access Tokens über per Authorization-Header an den Server übermittelt werden (Hilt, Camarillo & Rosenberg, 2012, Kapitel 7.1).

Andererseits gibt es auch Query-Parameter, welche direkt an die URL angehängt werden. Letztere werden oft für die Navigation im Portal verwendet, zumal bei GET-Requests kein Request-Body übermittelt werden kann.

1.1.7 Benutzer

Es gibt verschiedene Gruppen von Benutzern, die px gewinnbringend einsetzen können:

Backend-Entwickler Diese entwickeln, erweitern und korrigieren die RESTful-API, die das Backend von PEAX ausmachen. Von ihnen kann px einerseits für schnelle Tests und das Erstellen von Testdaten verwendet werden, andererseits kann px auch dabei hilfreich sein, die API (gerade Datenstrukturen) explorativ kennenzulernen.

Frontend-Entwickler Ist die Spezifikation eines Endpoints unvollständig, unklar oder gar fehlerhaft, kann darauf kein funktionierendes Frontend aufsetzen. Hier kann px dabei hilfreich sein, das tatsächliche Verhalten des Backends zu überprüfen, und die Struktur der zurückgelieferten Payloads zu betrachten.

Tester Die manuellen Regressionstests finden direkt auf dem Portal bzw. auf der App statt. Oftmals wäre es hilfreich, Testdaten grösseren Umfangs für einen neu registrierten Benutzer zu erstellen. Mithilfe von px können hierzu einfache Skripts zur Verfügung gestellt werden. (Die Skripts werden tendenziell eher von Entwicklern zur Verfügung gestellt, aber die Tester können diese nach Instruktion selbständig ausführen.

1.1.8 Betriebssysteme

Zu Beginn des Projekts (September 2019) waren auf den persönlichen Computern der Entwickler macOS und WINDOWS im Einsatz. Mittlerweile (Stand Oktober 2019) wurden alle WINDOWS-Rechner durch Geräte mit macOS ausgetauscht. Mit den Testern gibt es dennoch einige potenzielle Benutzer (siehe Abschnitt 1.1.7 *Benutzer*, Seite 9), die px immer noch auf WINDOWS einsetzen würden.

Auf zahlreichen virtuellen Maschinen der PEAX-Infrastruktur (etwa für Datenbanken) läuft LINUX als Betriebssystem. Hier könnte px für verschiedene Service-Tasks (Monitoring, Alerting) eingesetzt werden.

Es sind somit die Betriebssysteme macOS, Windows und Linux für die Ausführung von px relevant. Was die Architektur betrifft, kommen derzeit nur Intel-Prozessoren mit 64-Bit-Architektur (x86_64) zum Einsatz.

1.1.9 Shells

Verschiedene Betriebssysteme haben verschiedene Shells. Im UNIX-Bereich gibt es auch zahlreiche Shells mit unterschiedlichen Merkmalen, die parallel zueinander installiert werden können.

Bash ist nicht nur die Standard-Shell vieler LINUX-Distributionen, sondern kommt bei Entwicklern auch auf WINDOWS als GIT BASH zum Einsatz. Auf MacOS gehört BASH ebenfalls zum Lieferumfang, wobei die mächtigere ZSH seit MacOS CATALINA standardmässig zum Einsatz kommt (Apple Support, 2019). Andere populäre UNIX-Shells wie FISH, KSH und TCSH haben zwar unterschiedliche Merkmale, jedoch den POSIX-Standard als kleinsten gemeinsamen Nenner (American National Standards Institute, 1993).

Auf WINDOWS spielen zudem die POWERSHELL sowie `cmd.exe` eine Rolle.

1.2 Risikoanalyse

Auf den ersten Blick scheint px ein risikoarmes Unterfangen zu sein, handelt es sich doch hierbei um ein Zusatztool, das den Entwickleralltag erleichtern soll. Sämtliche Abläufe können bereits mit den bestehenden Werkzeugen durchgeführt werden, wenn auch vielleicht weniger effizient und weniger komfortabel.

Ein Projekt bringt aber immer das Risiko des Scheiterns mit sich. Solche Risiken beziehen sich auf die Ziele des Projekts, bzw. darauf, dass diese Ziele nicht erreicht werden können, oder das Projekt trotz formal erreichter Ziele das gestellte Problem nicht löst.

Für das vorliegende Projekt könne folgende Risiken identifiziert werden:

Projektrisiken Diese Risiken beziehen sich auf den Erfolg des Projekts als Ganzes:

- **Fehlende Adaption:** Auch wenn alle Anforderungen formell erfüllt sind, kann es dennoch sein, dass die Entwickler px nicht verwenden wollen. Eine Kombination aus mangelndem Mehrwert, Gewohnheit und Bequemlichkeit könnte der Grund dafür sein. Es gilt also nicht nur ein gutes Werkzeug zu erstellen, es muss auch dessen Mehrwert überzeugend demonstriert werden.
- **Mangelnde Abdeckung der API:** Werden signifikante Teile der API nicht durch px abgedeckt, ist man wiederum zur Verwendung der herkömmlichen Werkzeuge gezwungen. Diese Situation gilt es zu vermeiden.

Sicherheitsrisiken Gegenüber cUrl, POSTMAN und dergleichen soll px eine höhere Sicherheit schaffen. Die folgenden Sicherheitsrisiken können diesem Ziel abträglich

1 Problemstellung

sein:

- **Token-Verwahrung:** Werden die Tokens von px nicht angemessen sicher verwahrt, könnten diese von einem Angreifer verwendet werden.
- **Payment-Schnittstelle:** Über die PEAX API können – ein hinterlegtes Bankkonto vorausgesetzt – Zahlungen durchgeführt werden.

technische Risiken Diese Risiken beziehen sich auf die Implementierung der einzelnen Features von px. Sie werden im Rahmen der einzelnen User Stories besprochen und behandelt.

2 Stand der Praxis

Dieses Kapitel beschreibt die Ausgangslage vor dem Projektstart. Diese Situation bezieht sich einerseits auf die gängige Praxis beim Ansprechen der PEAX API, andererseits auf State-of-the-Art-Kommandozeilenprogramme, die u.a. auch bei PEAX zum Einsatz kommen.

2.1 Ansprechen der PEAX API

Für das direkte (d.h. nicht durch ein Web-Frontend vermittelte) Ansprechen einer RESTful-API haben sich verschiedene Werkzeuge etabliert. Im Folgenden werden verschiedene Werkzeuge besprochen, die sich bei PEAX etabliert haben.

2.1.1 Postman

Die Anwendung `POSTMAN`⁶ erfreut sich bei PEAX-Entwicklern grosser Beliebtheit. `POSTMAN` wird v.a. als HTTP-Client eingesetzt.

Requests können mit URL, Parametern und Body definiert und manuell in Collections gruppiert werden. Diese Gruppierungen werden beispielsweise nach Umgebung (dev, test) oder nach API-Bereich (Profile, Document) vorgenommen.

Es besteht auch die Möglichkeit, Variablen zu definieren. So kann beispielsweise nach einer erfolgreichen Authentifizierung der zurückgelieferte Access Token in eine Variable token abgespeichert werden. Diese Variable kann dann im einen weiteren Request im *Authentication*-Header mitgegeben werden.

Obwohl `POSTMAN` einen hohen Komfort bietet und als generischer HTTP-Client eine Abdeckung der gesamten API ermöglicht, gibt es einige Probleme in dessen Handhabung:

Austausch von Collections `POSTMAN`-Collections können als JSON-Dateien abgespeichert werden. Dieses Format eignet sich zur Speicherung in einem GIT-Repository. Im Gegensatz zu Programmcode oder Konfigurationsdateien sind die einzelnen Änderungen jedoch schwer nachzuvollziehen. Da die Entwickler verschiedene Bedürfnisse haben (API-Abdeckung, Organisation, verwendete Daten), gibt es kein zentrales Repository für `POSTMAN`-Collections. Stattdessen werden diese Collections als Dateien herumgereicht, was zu einem Wildwuchs führt.

⁶<https://www.getpostman.com/product/api-client>

Speicherung von Credentials Die Zugangsdaten werden zumeist im Klartext abgespeichert und mit den Collections herumgereicht. Hier könnten Variablen Abhilfe schaffen. Fehlendes Wissen über deren Handhabung und Bequemlichkeit führen aber immer wieder dazu, dass wieder Passwörter im Klartext in POSTMAN-Collections auftauchen.

Fehlende Automatisierung Obwohl sich POSTMAN mithilfe einer JAVASCRIPT-Runtime⁷ automatisieren liesse, werden Abläufe damit in der Praxis als Klick-Sequenzen durchgeführt. Der Aufwand, sich in das Scripting-Framework von POSTMAN einzuarbeiten, scheint sich für viele Entwickler offensichtlich nicht zu lohnen. Ein möglicher Grund dafür ist das Lock-In: Skripts können nur innerhalb von POSTMAN ohne Zusatzaufwand ausgeführt werden. Von Servern oder Containern aus, wo kein GUI zur Verfügung steht, sind die Skripts also nicht ausführbar.

2.1.2 cUrl

Bei curl handelt es sich um ein Kommandozeilenprogramm zum Ansprechen verschiedenster Protokolle⁸, wobei im Kontext von PEAX nur HTTP relevant ist. Verglichen mit POSTMAN wird curl von weniger Entwicklern eingesetzt, es kommt aber immer dann zum Einsatz, wenn ein grösserer Ablauf automatisiert werden soll⁹.

curl wird oft in Skripts verwendet. Hierzu wird ein High-Level-Skript geschrieben, das die eigentliche Aufgabe übernimmt (Dokument einliefern, Daten abrufen), welches ein Low-Level-Skript für die jeweilige Umgebung aufruft, das sich um das Token-Handling kümmert. Diese Skripts rufen meistens jq¹⁰ auf, um relevante Informationen aus den JSON-Payloads zu extrahieren.

Im Gegensatz zu den POSTMAN-Collections sind diese Skripts und deren Änderungen in einem GIT-Kontext einfach zu verstehen. Die Automatisierung ist nicht nur eine ungenutzte Möglichkeit, sondern wird auch tatsächlich genutzt.

Die Problematik der Credentials, die im Klartext herumgereicht werden, besteht aber dennoch. Ausserdem werden Ansammlungen solcher Skripts oftmals unübersichtlich und sind nur noch vom ursprünglichen Entwickler versteh- und wartbar.

curl benötigt zudem einiges an Einarbeitungszeit, um die einzelnen Kommandozeilenparameter zu verstehen – und zusätzliches Verständnis von Kommandozeilenkon-

⁷https://learning.getpostman.com/docs/postman/scripts/intro_to_scripts

⁸<https://curl.haxx.se/>

⁹Beispiel: Einem bestimmten Benutzer für Testzwecke 2000 Dokumente per Delivery-API ins Portal stellen

¹⁰<https://stedolan.github.io/jq/>

zepten (Pipes, Stdin/Stdout) sowie weiterer Kommandozeilenwerkzeuge (js, grep), um sinnvoll einsetzbar zu sein.

2.1.3 httpie

HTTPIE ist eine sehr einsteigsfreundliche Alternative zu curl, das sich im Gegensatz dazu auf das Protokoll HTTP konzentriert. Das Absetzen von Multipart-Payloads ist damit wesentlich komfortabler als mit curl.

Da es sich bei http – dem Executable von HTTPIE – um ein PYTHON-Skript handelt, ist die Installation einer entsprechenden Laufzeitumgebung vorausgesetzt.

Ansonsten hat HTTPIE in der Anwendung die gleichen Vor- und Nachteile wie curl.

2.2 Kommandozeilenprogramme

Bei Kommandozeilenprogrammen grösseren Umfangs hat sich ein Bedienungsmuster etabliert, bei dem der Programmname als der Hauptbefehl und der erste Parameter als Unterbefehl angegeben wird. Hierzu einige Beispiele:

```
$ git add *.c
$ git commit -m 'added C files'
$ git push

$ docker rm -f my-container
$ docker rmi -f my-image
$ docker run redis

$ go run cmd/px.go
$ go build cmd/px.go -o builds/linux/px
$ go vet
```

Codebeispiel 1: Einige Kommandozeilenbeispiele mit Haupt- und Unterbefehl

Ähnliche Bedienungsmuster findet man auch in oc (OPENSIFT Command Line Client), pacman und brew (Paketmanager für ARCH LINUX bzw. MACOS), npm und pip (Paketmanager für NODE und PYTHON). Obwohl sich für dieses Bedienungsmuster noch kein Name etabliert hat¹¹, soll es im Rahmen der vorliegenden Arbeit als *Swiss Army Knife*-Ansatz bezeichnet werden, zumal diese Bezeichnung im Standardwerk zu GO für das go-Tool verwendet wird (Donovan & Kernighan, 2015).

¹¹<https://superuser.com/q/1020583>

Ein etwas anderer Ansatz wird in RUST für das sehr umfassende Werkzeug cargo (u.a. für die Kompilierung und das Ausführen von Tests) verwendet. Hier gibt es zwar auch Unterbefehle (cargo build, cargo test), diese sind aber nicht zwingend Teil des cargo-Binaries, sondern separate Binaries, die im Verzeichnis `/.cargo/bin/` abgelegt sind, und der Namenskonvention cargo-[subcommand] folgen (Klabnik & Nichols, 2019, Kapitel 14.5).

Der Ansatz von RUST passt zwar deutlich besser zur UNIX-Philosophie – *«Make each program do one thing well.»* (McIlroy Doug, Pinson, E.N, Tague, B.A., 1978, p. 3) – führt aber im Fall von GO aufgrund der statischen Kompilierung zu einer ganzen Reihe grosser Binaries, anstelle nur eines grossen Binaries, was wiederum das Deployment und Setup erschwert.

2.3 Ausgangslage und Vorleistungen

Das Projekt px wurde bereits am 11. Juni 2019 auf dem GitLab von PEAX erstellt¹². Als erstes wurde eine CI-Pipeline bestehend aus den Schritten 'build' und 'test' erstellt. Die Pipeline wurde mittels eines Dummy-Tests überprüft, der einmal erfolgreich durchlaufen und einmal scheitern sollte, um einen Positiv- und einen Negativtest durchführen zu können.

Es wurde eine Hallo-Welt-Programm im cmd-Unterverzeichnis (Donovan & Kernighan, 2015, p. 293) erstellt, welches dazu diente, die Kompilierung für verschiedene Plattformen zu testen. Obwohl Go-Programme mittels 'go build' kompiliert werden können und keine weitere Build-Konfiguration benötigen, wurde ein Makefile erstellt, das ausführbare Programme für verschiedene Plattformen im build-Unterverzeichnis erstellt, also z.B. build/windows/px.exe für WINDOWS oder build/linux/px für LINUX.

Das Makefile wurde später um ein release-Target erweitert, womit die kompilierten Artefakte jeweils in eine Zip-Datei verpackt werden, die den aktuellen Versionstag (z.B. v0.0.3¹³) im Dateinamen enthält.

Das Target coverage führt die Testfälle durch, misst die Testabdeckung und generiert eine HTML-Ausgabe des getesteten Codes. Rote Zeilen sind nicht durch einen Testfall abgedeckt, grüne Zeilen hingegen schon. (Donovan & Kernighan, 2015, Kapitel 11.3)

Weiter sind bis am 31. Juli 2019 folgende Features implementiert worden:

px help zeigt eine einfache Hilfeseite auf der Kommandozeile an.

¹²<https://gitlab.peax.ch/peax3/px>

¹³<https://semver.org/>

- px login** führt einen Loginversuch mit den angegebenen Credentials durch. Benutzername und Passwort können entweder als Kommandozeilenparameter oder mittels interaktiver Eingabe (stdin) entgegengenommen werden. Im letzteren Fall wird das eingegebene Passwort nicht angezeigt, was mit einem externen SSH-Terminal-Modul¹⁴ erreicht wird. Bei einem erfolgreichen Login-Versuch werden `access_token` und `refresh_token` aus dem Response-Payload gelesen und im `$HOME`-Verzeichnis des jeweiligen Betriebssystem-Benutzers in eine JSON-Datei namens `.px-tokens` abgespeichert.
- px logout** löscht ein Token-Paar für eine bestimmte Umgebung. Pro Umgebung kann es zu jedem Zeitpunkt nur ein aktives «Login», d.h. Token-Paar geben. Es besteht auch die Möglichkeit, sämtliche Tokens auf einmal zu löschen. Hierbei wird `$HOME/.px-tokens` nicht gelöscht, sondern nur das Property `tokens` geleert. (Die Datei enthält ein Initialisierungsdatum, das nicht verlorengehen soll.)
- px upload** lädt eine Datei (z.B. PDF) auf das PEAX-Portal hoch. Diese Funktionalität wurde eingebaut, um die Funktionsweise von `px` vor dem Ideation-Gremium zu demonstrieren¹⁵.

Für die Evaluierung des Prototypen werden zudem die Anzahl Aufrufe und das Datum des letzten Aufrufs von `px` in eine JSON-Datei `$HOME/.px-usage` geschrieben.

Insgesamt wurden ca. 20 Arbeitsstunden in den Prototyp investiert. Ein grosser Teil des Codes kann für die Weiterentwicklung übernommen werden, muss jedoch umstrukturiert werden. So ist zuviel Logik im Hauptmodul `cmd/px.go`, die zwecks Wiederverwendbarkeit in das Library-Modul `px` überführt werden soll.

¹⁴<https://godoc.org/golang.org/x/crypto/ssh/terminal#Terminal.ReadPassword>

¹⁵Die hochgeladene Datei erschien Sekunden später im Web-Portal, was die Anwesenden von der Funktionsweise überzeugte

3 Ideen und Konzepte

3.1 Befehlsstruktur von px

TODO: swiss army knife (Donovan & Kernighan, 2015, p. 290) für CLI

3.1.1 Generische Befehle für Entwickler

TODO: generische Befehle für Entwickler (GET, POST, PUT, PATCH, DELETE)

3.1.2 Spezifische Befehle für Prototypen

TODO: bequeme Befehle für Prototypen (archive)

3.2 Token Store

TODO: token storage (sicher und unsicher)

3.3 Token Refresh

TODO: automatisches Retry

4 Methoden

Dieses Kapitel beschreibt nicht das WAS, sondern das WIE: Hier soll es nicht um einzelne Features und deren Implementierung gehen, sondern um das Vorgehen beim Planen, Konzipieren, Umsetzen, Testen, Validieren.

4.1 Vorgehen

Bei PEAX hat sich die agile Softwareentwicklung nach SCRUM durchgesetzt. Da es sich bei PEAX um ein Einzelprojekt handelt, können hier nicht sämtliche Aspekte davon abgebildet werden. Die üblichen SCRUM-Rollen wie PRODUCT OWNER und SCRUM MASTER fallen dabei weg, bzw. bestehen nur in Personallunion des einzigen Entwicklers.

Mit dem Auftraggeber und den Anwendern (Beta-Tester) gibt es aber dennoch Stakeholder, denen der Fortschritt der Arbeit regelmässig berichtet und vorgeführt wird. Von diesen werden auch Rückmeldungen zum Prototyp und zur Projektdokumentation eingefordert, um im weiteren Verlauf des Projekts darauf reagieren zu können.

Die Anwendung soll in mehreren zweiwöchigen Sprints entwickelt werden. Nach jedem Sprint wird der aktuelle Stand an das Entwicklungsteam ausgeliefert. Dabei erhält das Programm einen Versionstag entsprechend der Sprint-Nummer, wozu die Minor-Version erhöht wird (Beispiel: v0.1.0 ist der Tag nach dem ersten Sprint, v0.3.0 der Stand nach dem dritten Sprint). Bis zum darauffolgenden Sprint ist nun eine Woche Zeit zum Ausprobieren und zum Erteilen von Rückmeldungen. Diese fliessen in die Planung zum nächsten Sprint ein, der eine Woche nach dem vorausgegangenen Sprint-Ende startet.

Das Backlog wurde zu Beginn des Projekts nur grob skizziert, wird aber vor Beginn eines jeden Sprints dafür detailliert ausgearbeitet. Neben der Story-Beschreibung nach der Form *Als [Rolle] möchte ich [Funktion], damit [Nutzen]* werden zu jeder Story mehrere Akzeptanzkriterien festgehalten.

Während dem Umsetzen und Testen werden dann zu jeder Story Umsetzungsnotizen und ein Testprotokoll festgehalten. Die Umsetzungsnotizen fliessen jeweils nach dem Sprint in die Dokumentation ein. Ein Story-übergreifender Test-Plan soll nicht erstellt werden. Die Teststrategie wird im folgenden Unterkapitel beschrieben.

Das Projekt entstammt dem PEAX-Ideation-Prozess, und soll auch in diesem Rahmen validiert werden. Dieser Hintergrund ist im ersten Meilensteinbericht (siehe Abschnitt 8.4 *Weitere Dokumente*, Seite 40) genauer beschrieben.



Abbildung 1: *Agile Testing Quadrants* nach Lisa Crispin (<https://lisacrispin.com/2011/11/08/using-the-agile-testing-quadrants/>)

4.2 Teststrategie

Wie im Vorsemester im Modul *Software Testing* eingeübt, sollen die *Agile Test Quadrants* (Abbildung 1, Seite 19) als Grundlage zur Erarbeitung einer Teststrategie dienen (Crispin & Gregory, 2008, p. 242).

Für die vier Quadranten bieten sich für das vorliegende Projekt verschiedene Arten von Tests an. Diese werden im Folgenden für die einzelnen Quadranten beschrieben.

4.2.1 Q1: automatisiert

Im ersten Quadranten geht es um Tests, die vollautomatisch ausgeführt werden können. Diese Tests sollen in einer CI-Umgebung nach jedem Push und vor jedem Merge durchlaufen. Scheitert ein Test, wird der Entwickler notifiziert. Ein Merge-Request soll nicht ausgeführt werden können, wenn Testfälle im Feature-Branch scheitern, sodass die Tests

im Master-Branch immer durchlaufen.

Einzelne Funktionen können durch *Unit Tests* abgedeckt werden. Da die Sichtbarkeitsregeln in Go anders geregelt sind als in Java, und ein Unit Test jeweils zum gleichen Modul wie der zu testende Code gehört, können auch interne Funktionen getestet werden, und nicht nur die vom Modul exportierte Schnittstelle (Donovan & Kernighan, 2015, p. 311). Dies erlaubt ein feingranulareres Testing auf Stufe Unit Test.

Die Komponententests sind dann als Tests einzelner Module und somit als Black-Box-Tests zu verstehen, wobei die exportierte (d.h. öffentliche) Schnittstelle angesprochen wird. Auf Mocking soll hierbei verzichtet werden, da das Schreiben *Test Doubles* (Mocks, Spies, Fakes) Kenntnisse der Implementierung und nicht nur der Schnittstelle erfordert. Ändert sich die Implementierung bei gleichbleibendem (und weiterhin erfülltem) Schnittstellenvertrag, sollte auch ein Komponententest weiterhin funktionieren. Dies ist beim Einsatz von Mocks oft nicht gegeben. Eric Elliot bezeichnet Mocking gar als ein *Code Smell*, das die Struktur des Codes verkompliziert, wo doch *Test Driven Development* dabei helfen sollte, Code zu vereinfachen (Elliot, 2019, p. 205),

Ziel der Unit- und Komponententests ist nicht eine möglichst hohe Codeabdeckung, sondern ein optimales Verhältnis von Aufwand und Ertrag: Zeigt es sich, dass für einzelne Tests mit viel Aufwand eine umfassende Umgebung (im weitesten Sinne) aufgebaut werden muss, soll stattdessen geprüft werden, ob der Code nicht besser mittels Tests des zweiten Quadranten getestet werden soll.

4.2.2 Q2: automatisiert und manuell

Im zweiten Quadranten geht es um Tests auf der funktionalen Ebene, die teils automatisch, teils manuell ausgeführt werden.

Da px nicht nur interaktiv, sondern auch in Skripten verwendet werden soll, können komplette Workflows ebenfalls vollautomatisiert durchgetestet werden. Ein folgendes Skript könnte etwa folgenden Ablauf beschreiben:

- Einloggen auf einen System mit speziellen Test-Zugangsdaten
- Hochladen mehrerer Dokumente inklusive Metadaten mit Abspeicherung der dabei generierten Dokument-UUIDs
- Tagging der hochgeladenen Dokumente
- Herunterladen der zuvor hochgeladenen Dokumente und Vergleich mit dem ursprünglich hochgeladenen Dokument (etwa per SHA-2-Prüfsumme)

- Abfragen der zuvor mitgeschickten Metadaten und Tags; Prüfung derselben gegenüber den Ausgangsdaten

Ein solcher Test muss zwangsläufig gegen eine laufende Umgebung durchgeführt werden. (Ähnliche, aber wesentlich einfachere Abläufe werden bereits mit Uptrends durchgeführt, um die Verfügbarkeit der produktiven Umgebung automatisch zu überprüfen.) Hierbei besteht die Gefahr, dass Testfälle aufgrund eines Fehlers in der entsprechenden Umgebung scheitern, und nicht aufgrund der am Code von px vorgenommenen Änderungen. Im schlimmsten Fall müsste ein Merge-Vorgang auf den Master-Branch aufgrund einer nicht funktionierenden Umgebung verzögert werden. Eine pragmatische Lösung wäre es, wenn diese Tests gegen die produktive Umgebung ausgeführt würden. Diese Umgebung ist hoch verfügbar, und bei den seltenen Ausfällen derselben könnte auch notfalls mit einem Merge-Vorgang auf den Master-Branch zugewartet werden.¹⁶ Die Zugangsdaten für ein entsprechendes Testkonto können innerhalb der CI-Umgebung als verschlüsselte Variablen und lokal als Umgebungsvariablen abgelegt werden.

Das Schreiben von Skripten ist meistens ein Prozess, dem üblicherweise mehrere manuelle Durchgänge der auszuführenden Arbeitsschritte vorangeht. Skripts werden häufig dann geschrieben, wenn ein manueller Vorgang die Finger stärker beansprucht als den Kopf, und aufgrund der nachgebenden Achtsamkeit die Gefahr für Flüchtigkeitsfehler besteht. So soll es auch im vorliegenden Projekt gehandhabt werden: Wird ein neues Feature eingebaut, d.h. eine neue *User Story* umgesetzt, und sich das Testing desselben als aufwändig herausstellt, soll ein Testskript geschrieben werden, das dann sogleich in die CI-Pipeline eingebaut werden kann. Manuelle Tests sollen so möglichst bald und unkompliziert in automatisierte überführt werden.

4.2.3 Q3: manuell

Nach jedem Sprint erhalten die Entwickler bei PEAX Zugang zum aktuellen Stand der Software mit einem Changelog. Sie haben nun eine Woche Zeit, sich mit den neuen Features vertraut zu machen, und auszuprobieren, ob sich die Software wie gewünscht verhält.

Hier geht es weniger um die Korrektheit gemäss Spezifikation (Akzeptanzkriterien in den User Stories), welche bereits durch Tests in Q1 und Q2 gewährleistet werden sollte,

¹⁶Der Autor dieser Zeilen ist u.a. auch für die Verfügbarkeit des Produktivsystems zuständig. Ist diese nicht gegeben, werden Entwicklungsarbeiten erfahrungsgemäss unterbrochen, bis das System wieder vollumfänglich verfügbar ist.

sondern um *User Acceptance Tests*. Hiermit wird geprüft, ob das Inkrement die Bedürfnisse der Benutzer erfüllt und ihren Zielen dient. «Another kind of acceptance testing is *user acceptance testing*. Commonly used in Agile environments, user acceptance testing (UAT) checks that the system meets the goals of the users and operates in a manner acceptable to them (Laboon, 2017, p. 85).

Auch soll im Rahmen dieser Tests die *Usability* des Inkrements überprüft werden. Stossen mehrere Tester auf die gleichen Probleme? Wurde ein Feature (z.B. ein Subcommand) schlecht benannt, sodass dessen Semantik unklar ist? Ist die angebotene Hilfe-Funktion zu einem Befehl unklar oder schlecht formuliert?

Die Tests in Q3 sind jeweils in der ersten Wochenhälfte nach einem Sprint durchzuführen, sodass die Rückmeldungen für die Planung des nächsten Sprints, der in der darauffolgenden Woche startet, berücksichtigt werden kann.

4.2.4 Q4: Tools

Für die Qualitätssicherung können verschiedene Werkzeuge zum Einsatz kommen:

Benchmarks : Bieten sich bei der Implementierung einer performancekritischen Funktion mehrere Varianten an, ist die bessere Variante mithilfe von Benchmarks zu bestimmen. Die integrierte Benchmark-Funktion des go-Tools¹⁷, die eine Funktion so oft laufen lässt, bis eine statistisch relevante Aussage über deren Performance gemacht werden kann, ist hierzu völlig ausreichend (Donovan & Kernighan, 2015, p. 321).

Profiling : Im Profiling geht es darum, die kritischen Stellen im Code im Bezug auf Rechenzeit, Speicherverbrauch und blockierende Operationen zu ermitteln, um Aufgrund dieser Erkenntnis effektive Optimierungen am Code vornehmen zu können (Flaschenhalsoptimierung). Hierzu bietet das go-Tool¹⁸ wiederum sehr mächtige Werkzeuge out-of-the-box an (Donovan & Kernighan, 2015, p. 324).

Quellcodeanalyse : Kompilierbarer und korrekter Quellcode ist nicht automatisch auch guter Quellcode im Bezug auf Klarheit, Einfachheit, Eleganz und Best Practices. Beispielsweise sollen nach Möglichkeit keine veralteten und unsicheren APIs verwendet werden. Exportierte Funktionen, d.h. die öffentliche Schnittstelle eines Moduls,

¹⁷go test -bench=[pattern]

¹⁸go test -cpuprofile/-memprofile/-blockprofile=[Ausgabedatei]

4 Methoden

muss dokumentiert sein. Hierzu gibt es einerseits das Tool `go vet`¹⁹, das zum Lieferumfang von Go gehört, und potenzielle Fehler im Code meldet. Das Zusatztool `golint`²⁰ meldet stilistische Unschönheiten im Code.

Da es bei diesen Tools nicht um kategorische Qualitätskriterien (richtig oder falsch), sondern eher um kontinuierliche (schnell/langsam, hoher/tiefer Speicherverbrauch, hohe/tiefer Quellcodequalität) handelt, die einer subjektiven Interpretation bedürfen, sollen diese Tools nicht Teil der CI-Pipeline sein, sondern kontinuierlich (`go vet` und `golint`) und bei konkretem Bedarf (Benchmarking, Profiling) im Entwicklungsprozess eingesetzt werden. Um eine gewisse Quellcodeanalyse gewährleisten zu können, ist die Ausgabe von `go vet` und `golint` am Ende eines jeden Sprints summarisch zu dokumentieren.²¹

¹⁹Vet examines Go source code and reports suspicious constructs, such as Printf calls whose arguments do not align with the format string.

²⁰<https://github.com/golang/lint>

²¹Da die Ausformulierung von Rechtfertigungen oftmals anstrengender ist als die notwendigen Korrekturen am Code vorzunehmen, ist diese Massnahme als Anreiz zu verstehen, die erhaltenen Warnungen zu behandeln statt zu ignorieren.

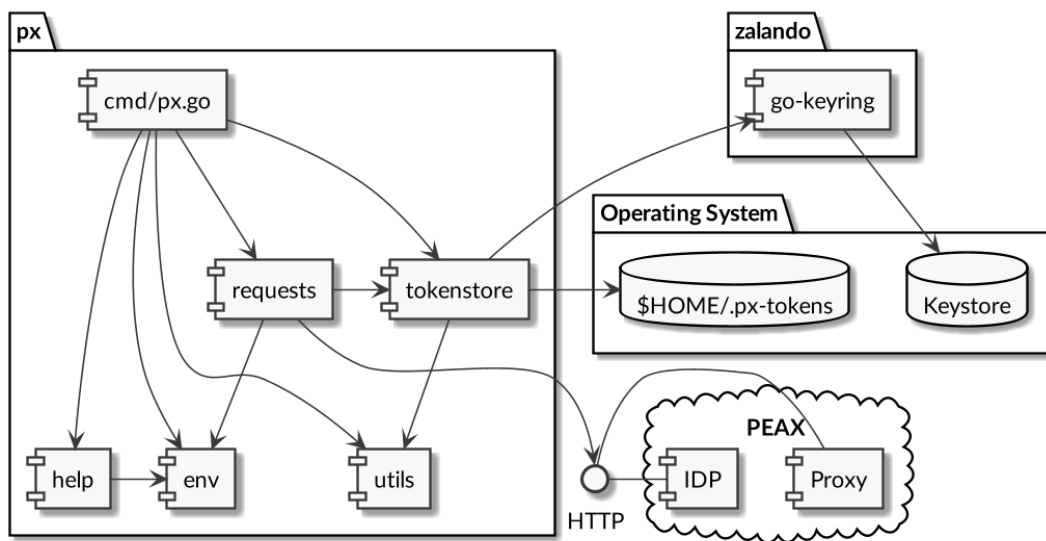


Abbildung 2: Komponentendiagramm: Die Komponentenarchitektur von px

5 Realisierung

TODO: Libraries, Umgebung, Architektur

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

5.1 Architektur

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Diese Projektstruktur ist bei GO-Anwendungen weit verbreitet (Gerardi, 2019, p. 12).

5.2 Zwei-Faktor-Authentifizierung

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

5.3 Retry-Mechanismus

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tem-

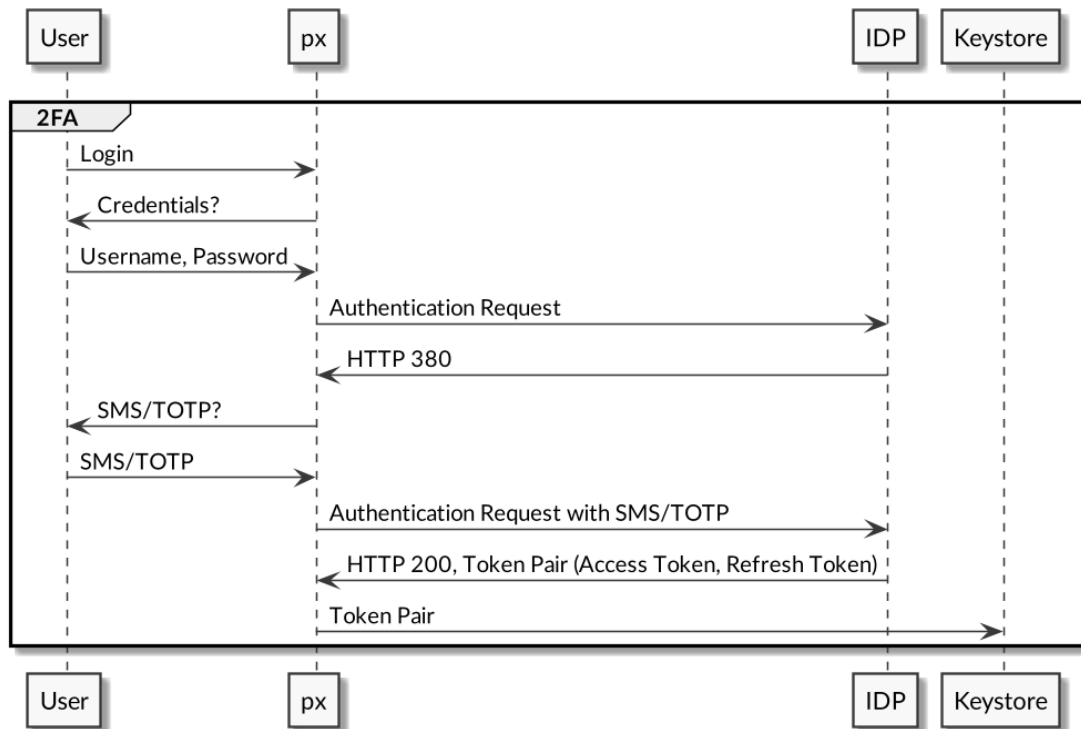


Abbildung 3: Sequenzdiagramm: Der Ablauf der Zwei-Faktor-Authentifizierung mit SMS oder OTP

5 Realisierung

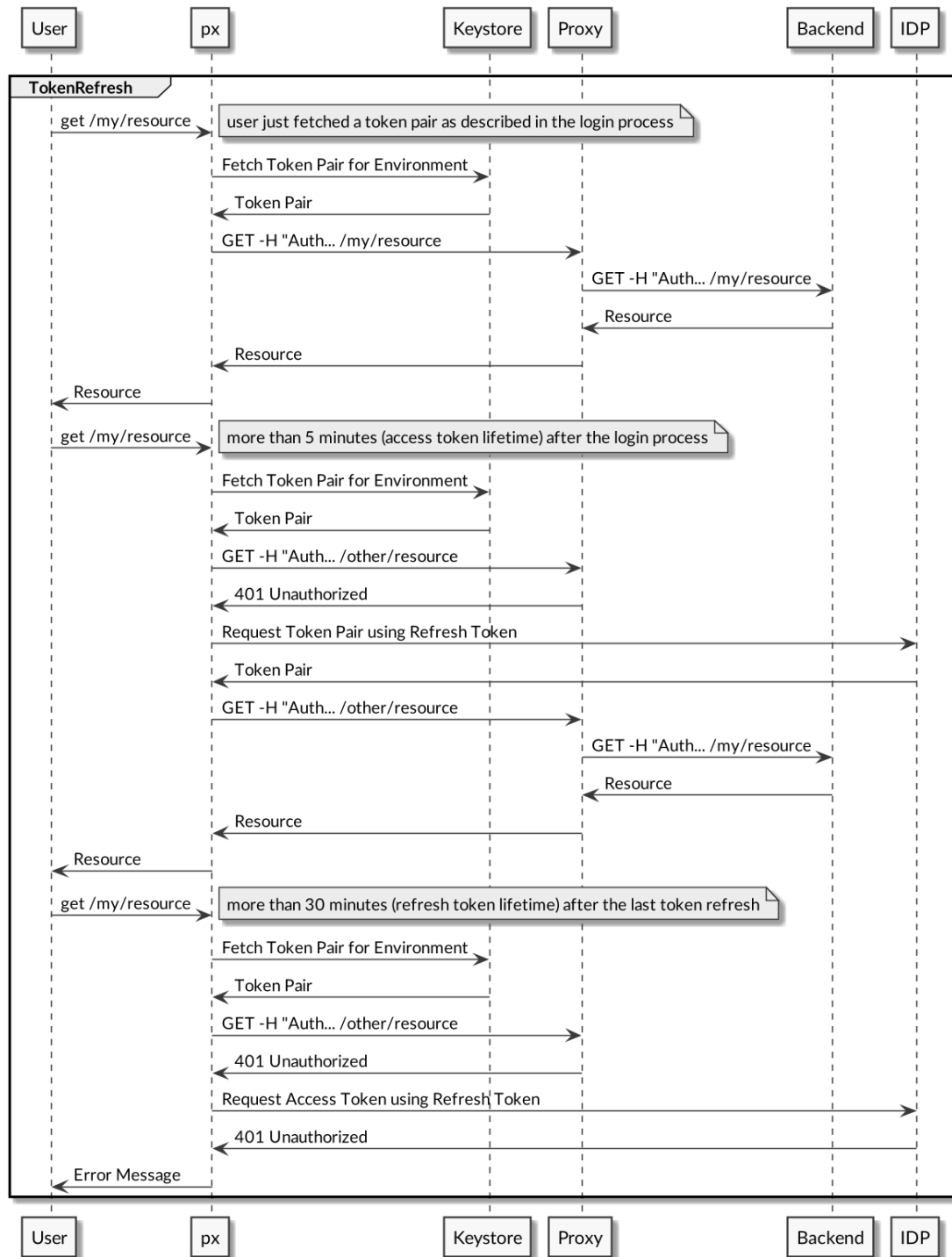


Abbildung 4: Sequenzdiagramm: Der für den Benutzer transparente Retry-Mechanismus mit einem Token Pair, das im Hintergrund automatisch aktualisiert wird

por invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

5.4 Token Store

TODO: sicher und unsicher, Datenstruktur

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

5.4.1 Fremdkomponente zalando/go-keyring

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

6 Evaluation und Validierung

Das vorliegende Projekt entstammt dem PEAX-Ideation-Prozess, worin sich Entwicklungs- und Validierungsphase abwechseln.

6.1 Rückmeldungen von Entwicklern

Nach jedem Sprint wird ein Inkrement an die Entwickler ausgeliefert (siehe Abschnitt 4.1 *Vorgehen*, Seite 18). Die Rückmeldungen werden hier gesammelt und kommentiert – und fließen in den jeweils nachfolgenden Sprint ein.

6.1.1 Sprint 1

- MICHAEL BUHOLZER wünscht sich Erfolgs- und Vollzugsmeldungen nach dem Login oder dem Upload eines Dokuments.
 - `stdout` sollte grundsätzlich «sauber» bleiben, d.h. frei von unnötigen Ausgaben, die ein nachgelagertes Programm wieder herausfiltern müsste. Eine wichtige Maxime von UNIX-Programmen lautet: *«Expect the output of every program to become the input to another, as yet unknown, program.»* (McIlroy Doug, Pinson, E.N., Tague, B.A., 1978, p. 3). Siehe dazu auch *Rule of Silence* (Raymond, 2004, p. 20) und *Silence is Golden* (Gancarz, 1995, p. III).²²
 - `stderr` wird nicht nur als Ausgabekanal für Fehlermeldungen verwendet, sondern für Meldungen allgemein. Für Vollzugsmeldungen wäre `stderr` vorzuziehen.
 - Da `stderr` in `px` bisher grundsätzlich für Fehlermeldungen verwendet wird, sollen Erfolgsmeldungen über ein zusätzliches Flag `-verbose/-v` aktiviert werden müssen.
 - Bei anderen Anwendungsfällen signalisiert die Ausgabe des Payloads auf `stdout` den Erfolg der Operation. Beim Dokument-Upload besteht dieser beispielsweise aus der generierten UUID des hochgeladenen Dokuments.

²²Brian W. Kernighan berichtet von der Zeit, als die Pipe Einzug in UNIX hielt, womit die Ausgabe eines Programms zur Eingabe eines anderen Programms gemacht werden konnte: *«Ken [Thompson] and Dennis [Ritchie] upgraded every command on the system in a single night. [...] Overall, the job was not hard—most programs required nothing more than eliminating extraneous messages that would have cluttered a pipeline, and sending error reports to stderr.»* (Kernighan, 2019, p. 69)

- PATRICK ROOS sieht die Möglichkeit, `px` auch zur Handhabung der *Vault Secrets*²³ (Verschlüsselung und Entschlüsselung von Benutzernamen, Passwörtern etc. zu verwenden.
 - Im Arbeitsalltag von PEAX stellt die Handhabung von Vault Secrets tatsächlich eine teils mühsame und langwierige Aufgabe dar. Hier besteht durchaus Automatisierungsbedarf.
 - `px` ist als «skriptbare» Anwendung für die PEAX API konzipiert und so potenziell für jeden PEAX-Anwender einsetzbar.
 - Die Verwaltung und Verwendung von Vault Secrets ist hingegen eine Aufgabe im DevOps-Bereich und betrifft nur interne Entwickler bei PEAX.
 - Eine der obersten Maximen von UNIX lautet: *«Make each program do one thing well. To do a new job, build afresh rather than complicate old programs by adding new features.»* (McIlroy Doug, Pinson, E.N, Tague, B.A., 1978, p. 3) Die Verwaltung von Vault Secrets und das Ansprechen der PEAX API sind klar zwei verschiedene Sachen und somit nicht «one thing». Die genannte Idee muss also anderweitig weiterverfolgt werden.

6.1.2 Sprint 2

- STEFANO PELLEGRINI fände einen Befehl `px version` sinnvoll, der die aktuelle Versionsnummer ausgibt. Damit könne man sicherstellen, dass man nicht etwa eine veraltete Version verwendet und (hinfällige) Rückmeldungen auf diese gibt.
 - Tatsächlich stellen die meisten Kommandozeilentools eine solche Möglichkeit zur Verfügung, wie z.B. GO oder DOCKER mit den Befehlen `go version` und `docker version`. Andere Werkzeuge, wie etwa der Command Line Client von HEROKU oder das Tool RIPGREP stellen ein entsprechendes Flag zur Verfügung (`heroku -v` bzw. `rg --version`).
 - Ein Versionstag ist bereits über das Git-Repository verfügbar. Die jeweils aktuelle Version kann mittels `git describe --tags` abgerufen werden.
 - Der Linker von Go²⁴ erlaubt es mit dem Parameter `-ldflags` uninitialisierte Strings im Programmcode mit einem Wert zu belegen.

²³https://docs.ansible.com/ansible/latest/user_guide/vault.html

²⁴<https://golang.org/cmd/link/>

- Heisst die Variable im main-Modul `Version`, kann die aktuelle Versionsnummer folgendermassen in die Binärdatei hineinkompiliert werden: `go build -ldflags="-X main.Version=$(git describe --tags)" cmd/px.go`
- Weiter hat STEFANO PELLEGRINI vorgeschlagen, dass `logout` sich auf die jeweils aktuelle Standardumgebung beziehen soll, damit man nicht immer eine Umgebung mit dem `-env`-Parameter angeben muss.
 - Der Vorschlag ist sinnvoll und soll entsprechend umgesetzt werden.
- MICHAEL BUHOLZER wünscht sich, dass die Ausgabe von JSON-Datenstrukturen automatisch formatiert wird (*pretty print*).
 - Grundsätzlich lässt sich die JSON-Ausgabe sehr einfach formatieren, indem sie mittels Pipe durch ein Programm wie `jq` gesendet wird²⁵.
 - Go bietet jedoch mit `json.Indent` eine sehr komfortable Funktion, womit ein beliebiger JSON-Payload²⁶ einfach formatiert werden kann.
 - Der Vorschlag soll umgesetzt werden. Weitere Features im Zusammenhang mit generischer JSON-Verarbeitung sollen jedoch der UNIX-Philosophie entsprechend an `jq` oder ähnliche Programme mittels Pipe delegiert werden.
- Zudem schlägt MICHAEL BUHOLZER im Zusammenhang mit dem `get`-Befehl vor, dass die PEAX ID automatisch anhand des eingeloggten Benutzers ergänzt werden soll, und man so nicht beispielsweise `profile/api/v3/profile/785.2120.8339.75` sondern bloss `profile/api/v3/profile` eingeben muss. Die PEAX ID sei für den Benutzer von `px` nirgends ersichtlich.
 - Eine generische GET-Schnittstelle kann nur angeboten werden, wenn die Ressourcenpfade für den Client transparent sind. So ist es nicht möglich, die PEAX ID automatisch zu ergänzen, zumal sie nicht zwingend am Ende, sondern auch mitten im Ressourcenpfad auftreten kann.
 - Eine bereits angedachte Lösung sind Variablen im Ressourcenpfad, die dann vom Client automatisch ergänzt werden, z.B. `profile/api/v3/profile/{peaxid}`.

²⁵Siehe <https://stedolan.github.io/jq/>, das auch die Möglichkeit bietet, Teile mittels einer DSL aus der Datenstruktur zu extrahieren.

²⁶D.h. nicht nur ein JSON-Payload, dessen Struktur mittels einer `struct` und den entsprechenden Annotationen beschrieben ist, was zu einem unverhältnismässigen Mehraufwand führen würde, zumal dann jeder mögliche Payload statisch beschrieben sein müsste.

6 *Evaluation und Validierung*

Hiermit kann eine generische Schnittstelle gewährleistet werden, und für den Benutzer wird die Handhabung einfacher.

- Evtl. wäre es sinnvoll, zu jeder Umgebung, die ein Login repräsentiert, ergänzende Token-Informationen ausgeben zu können, z.B. die PEAX ID.

7 Ausblick

TODO: OpenSource, auf dem Laufenden halten, unterschiedliche API-Versionen, wie weiter?

7.1 Backlog

7.2 Weiterentwicklung

7.3 Open Source

7.4 API-Aktualisierung

8 Anhang

Im Anhang sind verschiedene Teile der Dokumentation gesammelt, die den Lesefluss im Hauptteil unnötig erschweren würden, und eher als Referenz denn zum Durchlesen gedacht sind.

Weiter sind hier im Anhang Dokumente aufgelistet, die mit der Arbeit im Zusammenhang stehen, aber nicht physisch mit diesem Dokument verbunden sein sollen.

8.1 Systemspezifikation

Bei `px` handelt es sich um ein modular aufgebautes Kommandozeilenprogramm. Der Code ist in zwei Teile eingeteilt: das `px`-Modul (Library), das die Funktionalität anwendungsneutral zur Verfügung stellt, und das Kommandozeilenprogramm `cmd/px.go`, das die kommandozeilenspezifischen Operationen (Interpretation der Parameter, Ein- und Ausgabe) übernimmt, und Gebrauch vom `px`-Modul macht.

8.1.1 Systemkontext

Im Kontextdiagramm (Abbildung 5, Seite 35) wird die zu entwickelnde Komponente `px` im Systemkontext von PEAX dargestellt. Andere Komponenten sind als Ellipsen, Schnittstellen als Rechtecke dargestellt. Ausserhalb vom Systemkontexts befindet sich die irrelevante Umgebung (d.h. die Frontend-Anwendungen). Die im Kontextdiagramm verwendeten Begriffe haben folgende Bedeutungen:

- `px`: Der PEAX Command Line Client (Gegenstand der vorliegenden Arbeit)
- Developer: Ein Softwareentwickler (im weitesten Sinne) bei PEAX, der `px` verwendet.
- Backoffice User: Ein PEAX-Angestellter mit administrativen Befugnissen (Benutzerverwaltung).
- Portal User: Ein Benutzer des PEAX-Portals (Kunde).
- Scanning Center: Zulieferfirma, welche die umgeleitete Papierpost der PEAX-Kunden erhält, diese einscannt und dem betreffenden Kunden ins Portal stellt.
- Frontend (Backoffice): Ein Web-GUI für administrative Tätigkeiten zum internen Gebrauch.

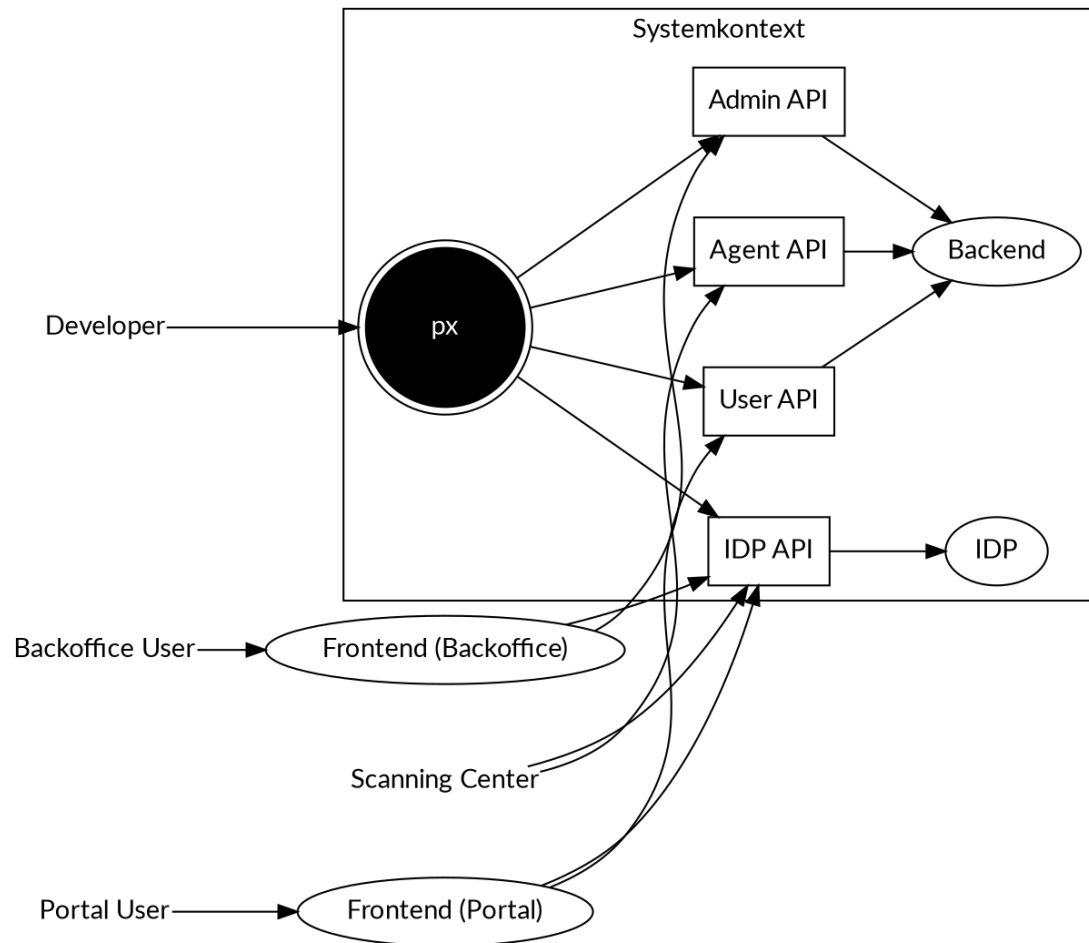


Abbildung 5: Kontextdiagramm: px als der Gegenstand der Arbeit innerhalb des Systemkontexts

- Frontend (Portal): Ein Web-GUI für die Kunden von PEAX (das eigentliche Portal).
- Admin API: RESTful API für administrative Aufgaben
- Agent API: RESTful API zum Einliefern von Dokumenten über Zulieferer
- User API: RESTful API für die Operationen der Kunden
- IDP API: RESTful API für das Token-Management (OAuth 2.0/OpenID Connect)
- Backend: Serverseitige Software mit Businesslogik und Datenspeicher
- IDP: Identity Provider, API-übergreifende Benutzer- und Zugangsverwaltung (AuthN/AuthZ)

8.2 Technologie-Evaluation

- Vorgabe: PEAX API (RESTful)

8.2.1 Programmiersprache

Aus der Aufgabenstellung und dem Umfeld bei PEAX ergeben sich folgende nicht-funktionale Anforderungen an die zu erstellende Software:

Installation Die Software soll sich einfach installieren lassen.

Umgebung Es dürfen keine besonderen Anforderungen an die Umgebung gestellt werden, auf der px läuft.

Plattformen Die Software soll auf allen gängigen, d.h. bei PEAX eingesetzten, Betriebssystemen (WINDOWS, MACOS, LINUX) lauffähig sein.

Einheitlichkeit Der Client soll überall die gleiche Befehlssyntax haben.

Performance Ein Command Line Client soll in Skripten verwendet werden können, wodurch das Programm sehr oft in kurzem Zeitraum aufgestartet werden muss.

JAVA, das bei PEAX im Backend-Bereich zum Einsatz kommt, erfordert die lokale Installation einer JRE in der richtigen Version, was bei Frontend-Entwicklern nicht gegeben ist. Ausserdem werden Wrapper-Skripts benötigt (java -jar px.jar ist nicht praktikabel).

Python, Ruby, Perl und andere Skriptsprachen benötigen ebenfalls einen vorinstallierten Interpreter in der richtigen Version.

Zwar gibt es mit Mono eine Variante von .Net, die überall lauffähig ist, hier werden aber wiederum eine Laufzeitumgebung bzw. vorinstallierte Libraries benötigt.

Für die Problemstellung am besten geeignet sind kompilierte Sprachen (C, C++, Go, RUST, NIM). Mit einer statischen Kompilierung lässt sich das ganze Programm in eine einzige Binärdatei überführen, welches denkbar einfach zu installieren ist (Kopieren nach einem der Verzeichnisse innerhalb von \$PATH).

Für JAVASCRIPT, das bei PEAX im Frontend zum Einsatz kommt, gibt es mit QUICKJS²⁷ seit kurzem die Möglichkeit, JAVASCRIPT zu Binärdateien zu kompilieren. Dies funktioniert aber nicht auf allen Plattformen, ausserdem ist QUICKJS noch experimentell und noch nicht für den produktiven Einsatz geeignet.

Um ein Projekt vom gegebenen Umfang innerhalb eines Semesters umsetzen zu können, sind Vorkenntnisse in der einzusetzenden Programmiersprache zwar nicht zwingend, können das Risiko des Scheiterns aber erheblich senken. Gerade bei der Abschätzung von Aufwänden ist Vertrautheit mit den einzusetzenden Werkzeugen sehr hilfreich.

Was (statisch) kompilierte Programmiersprachen betrifft, konnte der Autor dieser Arbeit bereits Erfahrungen mit C, Go und RUST sammeln. Das manuelle Speichermanagement in C (u.a. auch bei Strings) ist einerseits ein grosses Risiko (Buffer Overflows, Segmentation Faults), und wirkt sich andererseits negativ auf das Entwicklungstempo aus. In die engere Auswahl kommen somit Go und RUST.

Im Folgenden werden die gemachten Erfahrungen und die dabei empfundenen Vor- und Nachteile mit den Programmiersprachen Go und RUST einander gegenübergestellt.

8.2.2 Go

Mit Go konnte der Autor dieser Arbeit bereits einiges an Erfahrung sammeln. So wurde neben dem Prototyp zu px bereits die Testat-Aufgabe im Modul Software Testing²⁸, ein Thumbnailer²⁹ sowie zahlreiche Utilities³⁰ (viele darunter als HTTP-Clients) in Go entwickelt. Dabei wurden folgende Vor- und Nachteile ermittelt:

- Vorteile

- aufgrund weniger Keywords und Features einfach zu lernen

²⁷<https://bellard.org/quickjs/>

²⁸<https://github.com/patrickbucher/getting-to-philosophy>

²⁹<https://github.com/patrickbucher/thumbnailer>

³⁰<https://github.com/patrickbucher/go-scratch>

- hervorragendes Tooling out-of-the-box
 - Cross-Compilation ohne Zusatztools auf alle unterstützte Plattformen möglich
 - schnelle Kompilierung
 - umfassende Standard-Library, die u.a. ein hervorragendes HTTP-Package beinhaltet
 - persönlich bereits viel (positive) Erfahrungen damit gesammelt
 - wird bereits für andere bei PEAX gebräuchliche CLI-Tools eingesetzt (oc, docker)
 - fügt sich sehr gut in die UNIX-Philosophie ein (Tooling, Libraries)
 - Einfaches Interface für nebenläufige Programmierung (Goroutines und Channels)
 - geringer Memory-Verbrauch bei relativ hoher Performance³¹
- Nachteile
 - keine Features wie Generics, Exceptions und filter/map/reduce
 - Binaries fallen relativ gross aus³²
 - Error-Handling aufwändig und teils repetitiv

8.2.3 Rust

Der Autor dieser Arbeit konnte sich bereits letztes Jahr im Rahmen des Moduls *Programming Concepts and Paradigms* an der HSLU Informatik mit RUST befassen (Arnold & Bucher, 2018, p. 12). Nach selbständiger Beschäftigung mit dieser Programmiersprache im Sommer können (teils ergänzend) folgende Vor- und Nachteile genannt werden:

- Vorteile
 - viele moderne Features (Generics, filter/map/reduce)
 - hervorragendes Typsystem
 - gutes und ausgereiftes Tooling
 - weder manuelles Memory-Management noch Garbage Collector nötig

³¹<https://benchmarksgame-team.pages.debian.net/benchmarksgame/fastest/go.html>

³²https://golang.org/doc/faq#Why_is_my_trivial_program_such_a_large_binary

- Pattern Matching führt zu sehr solidem Code
 - gegenüber Go schlankere Binaries
 - kommt bereits in der Form einiger CLI-Tools persönlich zum Einsatz (rg, bat, hexyl, battop)
 - erstklassige Performance (im Bereich von C/C++) bei geringem Speicherverbrauch³³
- Nachteile
 - hohe Einstiegshürde und lange Einarbeitungszeit
 - Cross-Compilation benötigt Zusatztools
 - noch keine praxisnahe Erfahrung damit gesammelt
 - aufgrund schlanker Standard Library auf viele Dependencies angewiesen

8.2.4 Entscheidung

RUST hat gegenüber Go einige unbestreitbare Vorzüge (Memory Management, Typsystem, Ausdruckstärke, Eliminierung ganzer Fehlerklassen, Performance, schlankere Binärdateien). Bezogen auf das umzusetzende Projekt haben jedoch einige davon kaum einen wichtigen Stellenwert (etwa Performance und Zero-Cost Abstractions). Hier fallen die Vorzüge von Go (umfassende Standard Library, Cross-Compilation) wesentlich stärker ins Gewicht.

Gerade die absichtlich schlank gehaltene Standard Library von RUST, die etwa zur Generierung von Zufallszahlen bereits externe Abhängigkeiten erfordert³⁴, dürfte sich im vorliegenden Projektrahmen negativ auswirken, zumal die Evaluation verschiedener Libraries einen sehr hohen Zusatzaufwand erfordert.

Da Go bereits bei der Entwicklung des Prototypen von px erfolgreich zum Einsatz kam, und einige Projektaspekte (grundlegende CI-Pipeline, Makefile für Cross-Compilation und Packaging) bereits damit implementiert werden konnten, soll Go für das vorliegende Projekt den Vorzug erhalten.

Eine spätere Neuimplementierung von px in RUST wäre ein technisch durchaus interessantes, wenn auch praktisch wenig dringendes – als Fallstudie aber durchaus lohnendes – Unterfangen.

³³<https://benchmarkgame-team.pages.debian.net/benchmarkgame/fastest/rust-go.html>

³⁴<https://doc.rust-lang.org/book/ch02-00-guessing-game-tutorial.html#using-a-crate-to-get-more-functionality>

8.3 Libraries

TODO: JWT, Keystore, Password Input

8.4 Weitere Dokumente

Projektauftrag Im Projektauftrag (Anhang/Projektauftrag.pdf) ist die Aufgabe beschrieben, wie sie zu Beginn des Projekts definiert worden ist.

Projektplan Der Projektplan (Anhang/Projektplan.pdf) besteht aus einem Rahmenplan, einem Meilensteinplan und einem Wochenplan.

Backlog Das Backlog (Anhang/Backlog.pdf) enthält die einzelnen User Stories, die Sprint-Planung, Umsetzungsnotizen zu einzelnen User Stories und Testprotokolle dazu.

Meilensteinbericht 1 Der erste Meilensteinbericht (Anhang/Meilensteinbericht-1.pdf) beschreibt die Vorgeschichte des Projekts und die Phase der Projektinitialisierung.

Meilensteinbericht 2 Der zweiten Meilensteinbericht (Anhang/Meilensteinbericht-2.pdf) umfasst die ersten beiden Sprints.

Meilensteinbericht 3 Anhang/Meilensteinbericht-3.pdf

Arbeitsjournal Im Arbeitsjournal (Anhang/Arbeitsjournal.pdf) sind die einzelnen Aufwände auf halbe Stunden gerundet nach Bereich – Projekt(administration), Dokumentation, Umsetzung – rapportiert. Mithilfe eines AWK-Skripts können die Aufwände nach Bereich und User Story ausgewertet werden.

Glossar

IDP Identity Provider: Service, der die Benutzerkonti mit persönlichen Angaben, Identifikation, Authentifizierungsmechanismen (Passwörter, Tokens), Berechtigungen usw. verwaltet und diesen Authentifizierungsmechanismen zur Verfügung stellt.

Literatur

- American National Standards Institute. (1993). *IEEE standard for information technology: Portable Operating System Interface (POSIX) : part 2, shell and utilities*. IEEE Computer Society Press.
- Apple Support. (2019). *Use zsh as the default shell on your Mac*. <https://support.apple.com/en-us/HT208050>. (Abgerufen am 26.10.2019)
- Arnold, L. & Bucher, P. (2018, December). *Rust* (Bericht). (<https://github.com/patrickbucher/pcp-project/raw/master/Rust-Arnold-Bucher/paper.pdf>)
- Bucher, P. & Christensen, C. (2019, May). *OAuth 2* (Bericht). (https://github.com/patrickbucher/inf-stud-hslu/raw/master/infkol/thesis/OAuth2_Bucher-Christensen.pdf)
- Crispin, L. & Gregory, J. (2008). *Agile Testing*. Addison-Wesley.
- Donovan, A. A. A. & Kernighan, B. W. (2015). *The Go Programming Language*. Addison-Wesley.
- Dusseault, L. & Snell, J. (2010, March). *PATCH Method for HTTP* (RFC Nr. 5789). RFC Editor. Internet Requests for Comments. Zugriff auf <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5789.txt> (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5789.txt>)
- Elliot, E. (2019). *Composing Software*. Leanpub. <https://leanpub.com/composingsoftware>.
- Fielding, R. & Reschke, J. (2014, June). *Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content* (RFC Nr. 7231). RFC Editor. Internet Requests for Comments. Zugriff auf <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7231.txt> (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7231.txt>)
- Fielding, R. T., Gettys, J., Mogul, J. C., Nielsen, H. F., Masinter, L., Leach, P. J. & Berners-Lee, T. (1999, June). *Hypertext transfer protocol – http/1.1* (RFC Nr. 2616). RFC Editor. Internet Requests for Comments. Zugriff auf <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2616.txt> (<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2616.txt>)
- Gancarz, M. (1995). *The UNIX Philosophy*. Digital Press.
- Gerardi, R. (2019). *Powerful Command-Line Applications in Go*. The Pragmatic Programmers.
- Hilt, V., Camarillo, G. & Rosenberg, J. (2012, December). *A Framework for Session Initiation Protocol (SIP) Session Policies* (RFC Nr. 6794). RFC Editor. Internet Requests for Comments. Zugriff auf <https://tools.ietf.org/html/rfc6794> (<https://tools.ietf.org/html/rfc6794>)
- Kernighan, B. W. (2019). *UNIX*. Kindle Direct Publishing.
- Klabnik, S. & Nichols, C. (2019). *The Rust Programming Language*. no starch press.

Literatur

- Laboon, B. (2017). *A Friendly Introduction to Software Testing*.
- McIlroy Doug, Pinson, E.N, Tague, B.A. (1978). *UNIX Time-Sharing System* (Bericht). Bell System Technical Journal 57. (<https://archive.org/details/bstj57-6-1899>)
- Mozilla Developer Network. (o.J.). *Cross-Origin Resource Sharing (CORS)*. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/CORS>. (Abgerufen am 26.10.2019)
- P. Bryan, M. N. (2013, April). *JavaScript Object Notation (JSON) Patch* (RFC Nr. 6902). RFC Editor. Internet Requests for Comments. Zugriff auf <https://tools.ietf.org/html/rfc6902> (<https://tools.ietf.org/html/rfc6902>)
- Raymond, E. S. (2004). *The Art of UNIX Programming*. Addison-Wesley.

Abbildungsverzeichnis

I	<i>Agile Testing Quadrants</i> nach Lisa Crispin (https://lisacrispin.com/2011/11/08/using-the-agile-testing-quadrants/)	19
2	Komponentendiagramm: Die Komponentenarchitektur von px	24
3	Sequenzdiagramm: Der Ablauf der Zwei-Faktor-Authentifizierung mit SMS oder OTP	26
4	Sequenzdiagramm: Der für den Benutzer transparente Retry-Mechanismus mit einem Token Pair, das im Hintergrund automatisch aktualisiert wird .	27
5	Kontextdiagramm: px als der Gegenstand der Arbeit innerhalb des Systemkontexts	35

Verzeichnis der Codebeispiele

I	Einie Kommandozeilenbeispiele mit Haupt- und Unterbefehl	I4
---	--	----