

Beispiel für eine Seminararbeit
im Seminar Trends der Softwaretechnik
mit dem Titel

Energieeffizienter Entwurf von Software,
insbesondere mobiler Anwendungen und
grafischer User Interfaces

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Grundlagen	2
1.2	Problemstellung	2
1.3	Ziel der Arbeit	3
2	Systematische Literaturrecherche	3
2.1	Identifizierung Quellen und Suchmaschinen	3
2.1.1	Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) .	4
2.1.2	Association for Computing Machinery (ACM)	4
2.1.3	Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) . .	4
2.2	Recherchefragen	4
2.2.1	RQ1 - Energiebedarf verschiedener Bestandteile mobiler Anwendungen und Systeme	4
2.2.2	RQ2 - Faktoren und Optimierungsmöglichkeiten für Ener- giebedarf von Datentransfer	5
2.2.3	RQ3 - Energieeffizienz von GUIs	6
3	Hauptteil	7
3.1	Energieverbraucher und allgemeine Anwendungsoptimierung bei mobilen Anwendungen	7
3.1.1	Verbrauch verschiedener Bestandteile von Anwendungen .	7
3.1.2	Nutzung von nativen OS Funktionen zur Energieeinsparung	9
3.1.3	Optimierung von Android Apps mithilfe von zwei Java Best Practices	9
3.1.4	Vergleich und Evaluierung des Energieverbrauchs verschie- dener Websites und ihrer Komponenten	10
3.2	Datentransfer und Energieverbrauch	12
3.2.1	Ausnutzung von WLAN und Mobilfunknetzwerken	12
3.2.2	Planung des Datenabrufs über Mobilfunknetzwerke	13
3.3	Optimierung von GUIs für eine hohe Energieeffizienz	14
3.3.1	Energiesparende Darstellung von GUIs	14
3.3.2	Optimierung der Interaktion	14
3.3.3	Evaluierung der Nutzerakzeptanz verschiedener GUI Op- timierungen	15
4	Zusammenfassung und Ausblick	16
4.1	Zusammenfassung	16
4.2	Kritische Reflektion	16
4.3	Ausblick	17
5	Anhang	18

1 Einleitung

Das Thema der Energieeffizienz von Software stellt in der heutigen Zeit einen nicht zu vernachlässigen wichtigen Aspekt bei der Gestaltung von Software und Softwaresystemen dar. Nicht nur können durch eine gute Energieeffizienz die Auswirkungen auf die Umwelt merklich verbessert werden, auch wird die Verwendbarkeit von Software optimiert, so dass beispielsweise bei mobilen Anwendungen ein geringerer Energieverbrauch für eine Steigerung der Laufzeit von Akku-betriebenen Geräten sorgt. Der Energieverbrauch von Software lässt sich dabei nicht vollständig auf Null reduzieren, allerdings ist eine Optimierung der benötigten Energie und Reduzierung auf ein Minimum in vielerlei Hinsicht sinnvoll.[Har+04][Thi+12][PHZ12]

1.1 Grundlagen

Diese Ausarbeitung richtet sich primär an angehende und ausgebildete Softwareentwickler mit einem gewissen Basisverständnis im Bereich der Informationstechnologie und einiger Erfahrung bei der Entwicklung von Software. Für das Verständnis dieser Arbeit sind wenige Grundlagen notwendig. Ein grundlegendes Wissen über den Aufbau von Websites und die vorhandenen Bestandteile, beispielsweise HTML, CSS und JavaScript, ist jedoch ratsam. Auch ein Basisverständnis über den Aufbau von Apps bzw. Anwendungen ist sinnvoll. Gerade Android Anwendungen in der Programmiersprache Java werden betrachtet, weshalb eine Auseinandersetzung mit Programmiermechanismen in dieser Sprache, beispielsweise Gettern und Settern sowie ForEach-Schleifen, ein leichteres Verständnis der Teile dieser Ausarbeitung, die Bezug zur Optimierung von Android Apps haben, ermöglicht.

1.2 Problemstellung

Anwendungen, gerade im Bereich von Akku-betriebenen Geräten ohne direkten Anschluss an das Stromnetz, sind auf eine energieeffiziente Implementierung angewiesen, um lange Laufzeiten der Geräte zu ermöglichen und nicht zu einer schlechten Nutzererfahrung zu führen. Durch vergleichsweise einfache Mechanismen und Methoden lassen sich bereits große Einsparungen im Energieverbrauch erreichen, jedoch ist dafür eine initiale Sensibilisierung für das Thema notwendig. Durch die Beleuchtung verschiedener Energieverbraucher und möglicher Mechanismen und Methoden, diese zu optimieren bzw. zu vermeiden, wird das Problem der fehlenden Sensibilisierung für dieses Thema adressiert.[Har+04][Thi+12][PHZ12]

Das Problem des negativen Umwelteinflusses und hoher Energiekosten durch ineffiziente Software bezogen auf ihren Energieverbrauch wird dadurch indirekt behandelt.

1.3 Ziel der Arbeit

Da durch die umsichtige Umsetzungen verschiedenster Mechanismen zur Einsparung von Energie mehrere Aspekte und Probleme moderner Software angegriffen werden können, ist das Thema der Energieeffizienz interessant. Energieeinsparungen können die Laufzeit von Akku-betriebenen Geräten erhöhen und können für die Einsparung von Energiekosten und natürlich für einen verringerten negativen Einfluss auf die Umwelt sorgen. Durch energieeffiziente Software wird außerdem eine positivere Wahrnehmung durch den Nutzer erreicht, welcher durch höhere Laufzeiten von Anwendungen und Mobilgeräten profitieren kann.

Aspekte, die in der folgenden Arbeit behandelt werden sollen, sind daher unter anderem, wie Software gestaltet werden kann, um möglichst energieeffizient zu sein. Hierbei werden unter anderem Anwendungen und Geräte ohne direkten Anschluss an das Stromnetz, wie z.B. im mobilen Bereich, betrachtet, die allgemein auf eine effiziente Akku- und Energienutzung angewiesen sind oder dadurch unterstützt werden. Dazu wird auf die Frage eingegangen, welches die größten Faktoren bei der Energieeffizienz von Software verschiedenster Art sind, so z.B. eine Betrachtung des Energieverbrauchs bei der Darstellung von grafischen Inhalten auf Displays mit unterschiedlichen Darstellungstechnologien oder der Energieverbrauch bei der Übertragung von Daten.

Abschließend soll die Frage geklärt werden, wie, vor allem bei mobilen und tendenziell grafischen Anwendungen, eine hohe Energieeffizienz erreicht werden kann. Die verschiedenen Faktoren und Ursachen, die eine Rolle bei der Energieeffizienz von Software spielen, sollen hierbei gesammelt, ausgewertet und erläutert werden. Außerdem werden möglichen Entscheidungen und deren Konsequenzen bei der Entwicklung von grafischen User Interfaces (GUIs) behandelt und auch anhand der Nutzerakzeptanz bewertet.

Insgesamt vermitteln soll diese Ausarbeitung folglich, welche Bestandteile von Anwendungen wie viel Energie benötigen, welche Rolle der Datentransfer bei der Energieeffizienz spielt und wie der Energieverbrauch des Datentransfers optimiert werden kann und abschließend wie grafische Anwendungen für eine hohe Energieeffizienz gestaltet werden können. Nicht vermittelt in dieser Arbeit wird die konkrete Implementierung der genannten Mechanismen zur Optimierung. Die Inhalte sind im Ergebnis eher abstrakt, jedoch erlauben die Messergebnisse eine Ableitung von konkreten geeigneten Schritten und Maßnahmen.

2 Systematische Literaturrecherche

Zur systematischen Recherche werden die wichtigsten Quellen identifiziert, die für diese Arbeit relevant sind. Darauf folgt die Herleitung und Ausarbeitung von Recherchefragen, auf die im Verlauf der Arbeit eingegangen wird.

2.1 Identifizierung Quellen und Suchmaschinen

Für die Literaturrecherche wurde als Suchmaschine hauptsächlich Google Scholar verwendet. Als wichtigste relevante Quellen wurden folgende drei Organisatio-

nen und Herausgeber identifiziert.

2.1.1 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Als Verband verschiedenster Berufe, wie unter anderem Ingenieur, Techniker, Naturwissenschaftler und Bereiche aus der Informationstechnologie, ist das IEEE eine sehr gute Anlaufstelle für die Beschaffung von Fachzeitschriften. Als Herausgeber diverser akademischer Zeitschriften und wissenschaftlicher Beiträge ist dieser eine der größten potentiellen Quellen. Hier veröffentlichte Beiträge und Inhalte werden durch unabhängige Gremien geprüft, weshalb von einer hohen Glaubhaftigkeit auszugehen ist.

2.1.2 Association for Computing Machinery (ACM)

Die ACM ist eine der größten wissenschaftlichen Gesellschaften mit großem akademischen Schwerpunkt im Bereich der Informatik. Dadurch eignet sich die ACM als weitere gute Quelle. Auch hier veröffentlichte Beiträge dürften aufgrund des akademischen Schwerpunktes eine hohe Glaubwürdigkeit aufweisen.

2.1.3 Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)

Das MDPI als Herausgeber von wissenschaftlichen Fachzeitschriften eignet sich als weitere gute Quelle. Alle Artikel des MDPI stehen unter der freien Creative-Commons-Lizenz, was diese Artikel besonders zugänglich macht. Allerdings ist möglicherweise eine geringere Qualität und Glaubwürdigkeit garantiert, da weniger finanzielle Ressourcen für eine Sicherstellung dieser vorhanden sein dürften.

2.2 Recherchefragen

Ausgehend von den zuvor definierten Zielen werden die nachfolgenden Recherchefragen formuliert. Das Ziel der Klärung der größten Faktoren bei der Energieeffizienz wird mit der Recherchefrage, welche Bestandteile mobiler Anwendungen und Systeme den größten Energiebedarf haben, behandelt. Da diese Frage sehr allgemeine Lösungen zur Energieoptimierung bringt, wird außerdem konkret auf die Optimierung des Energieverbrauchs beim Transfer von Daten eingegangen. Dafür wird die Frage, welche Faktoren den Energiebedarf beim Datentransfer beeinflussen und welche Maßnahmen für eine Optimierung getroffen werden können, behandelt. Der Themenblock der Optimierung von GUIs wird durch die Recherchefrage, was bei der Erstellung von grafischen User Interface für eine möglichst hohe Energieeffizienz beachtet werden kann, behandelt.

2.2.1 RQ1 - Energiebedarf verschiedener Bestandteile mobiler Anwendungen und Systeme

Rechercheziel Welche Bestandteile mobiler Anwendungen und Systeme haben den größten Energiebedarf?

Relevante Suchbegriffe Aus dem Rechercheziel wurden passende Suchbegriffe abgeleitet. Einer der wichtigsten Suchbegriffe ist die Energieeffizienz bzw. energy efficiency, da dadurch eine Eingrenzung auf den Bereich Energieverbrauch erfolgt. Mobile Application grenzt die Suche weiter auf mobile Anwendungen ein. Die Ergänzung um weitere Suchbegriffe wie energy consumption, battery optimization und low power brachten weitere vielversprechende Ergebnisse.

Insgesamt wurden folgende Suchbegriffe in verschiedenen Kombinationen verwendet: energy efficiency, mobile application, energy consumption, battery optimization, low power, browser, performance bugs, energy accounting

Rechercheprotokoll und Bewertung Für die Recherche nach dem Energiebedarf allgemeiner Bestandteile mobiler Anwendungen und Systeme wurden verschiedene Kriterien für die Bewertung der Literatur festgelegt. Eine Suche nach allgemeinen Faktoren und Bestandteilen liefert recht allgemeine Ergebnisse. Damit dabei nicht eine zu große Menge an unbrauchbaren bzw. evtl. auch irrelevanten Inhalten herauskommt wurde der Informationsgehalt, also eine Bewertung danach, ob die Quelle beispielsweise konkrete Messergebnisse oder andere Zahlen liefert, als Bewertungskriterium herangezogen. Als weiteres, allerdings sekundäres, Bewertungskriterium wird das Erscheinungsjahr festgelegt. Hauptsächlich Literatur ab dem Jahr 2010 wird als relevant eingestuft, da erst ab diesem Zeitpunkt ein konkreter Bezug zu Smartphones anzunehmen ist. Das Bewertungskriterium der Glaubwürdigkeit wurde außerdem für die Bewertung aller Quellen herangezogen.

Am 06.04.2022 wurde mit den Suchbegriffen **mobile browser energy consumption** und **android mobile application efficiency** gesucht. Dabei wurden verschiedene Ergebnisse, wie beispielsweise die Artikel Who killed my battery?: analyzing mobile browser energy consumption und Analysis and Evaluation of the Android Best Practices Impact on the Efficiency of Mobile Applications gefunden. Eine weitere Suche am selben Tag mit dem Suchbegriff **mobile application performance bugs** ergab weitere Ergebnisse. Die Suche **energy accounting smartphone** brachte Inhalte mit konkreten Messungen über Bestandteile von Anwendungen und deren Energieverbrauch. Nach einer Bewertung basierend auf den oben genannten Kriterien wurde damit die Auswahl auf die relevanten Artikel (siehe Anhang) reduziert.

2.2.2 RQ2 - Faktoren und Optimierungsmöglichkeiten für Energiebedarf von Datentransfer

Rechercheziel Welche Faktoren beeinflussen den Energiebedarf des Datentransfers und durch welche Maßnahmen ist eine Optimierung möglich?

Relevante Suchbegriffe Für das Rechercheziel des Datentransfers ließen sich durch die Hauptstichworte low power communication und data scheduling viele Ergebnisse finden. Konkrete Suchen nach LoRa, wireless communication, energy consumption und Wide-Area IoT technologies brachten weitere Ergebnisse.

Zusammengefasst wurden folgende Suchbegriffe in verschiedenen Kombinationen verwendet: energy efficiency, energy consumption, low power, communication, data scheduling, LoRa, wireless communication, Wide-Area IoT technologies, data transfer

Rechercheprotokoll und Bewertung Als Bewertungskriterium für die Recherche nach Inhalten im Bezug auf Datentransfer und Energieverbrauch wurde auch hier der Informationsgehalt, also das Vorhandensein von Zahlen und Messergebnissen, heran gezogen. Als weiteres Kriterium wurde hier zur Bewertung festgelegt, wie konkret die geschilderten Ergebnisse sind, um weniger konkrete allgemeine Inhalte nicht zu sehr weiterzuverfolgen. Auch das Bewertungskriterium der Glaubwürdigkeit wurde zur Bewertung herangezogen.

Am 06.04.2022 wurde mit den Stichworten **wireless data transfer energy** gesucht und vor allem einige Artikel mit konkreten Messungen über den Energieverbrauch verschiedener Technologien für den Datentransfer unter unterschiedlichen Bedingungen gefunden. Später am selben Tag wurde außerdem mit dem Suchbegriff **data scheduling energy** gesucht, was Ergebnisse wie unter anderem den Artikel über die Data Scheduling Implementierung Bartendr hervorbrachte. Nach einer Bewertung basierend auf den oben genannten Kriterien wurde damit die Auswahl auf die relevanten Artikel (siehe Anhang) reduziert.

2.2.3 RQ3 - Energieeffizienz von GUIs

Rechercheziel Was kann bei der Erstellung von grafischen User Interface beachtet werden, um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erreichen?

Relevante Suchbegriffe Für eine Suche im Bereich GUI bieten sich vor allem die Begriffe graphical user interfaces, energy efficiency und energy aware user interfaces an. Außerdem kann gezielt nach Literatur im Bereich user interface design gesucht werden und der Fokus auf Inhalte mit Bezug zur Energieeffizienz oder Interaktionszeit gelegt werden.

Insgesamt wurden folgende Suchbegriffe verwendet: graphical user interfaces, energy efficiency, energy consumption, low power, energy aware user interfaces, user interface design

Rechercheprotokoll und Bewertung Für die Bewertung der Recherche im Bereich GUI wurde als Bewertungskriterium das Vorhandensein von repräsentativen Daten herangezogen. Vor allem Studien und Befragungen zur Nutzerakzeptanz sowie Effizienz- und Zeitmessungen sind hier interessant. Außerdem wurde wieder eine Bewertung der Glaubwürdigkeit und anhand des Informationsgehaltes, also konkreter Zahlen und Messergebnisse, vorgenommen.

Am 06.04.2022 wurde mit den Suchbegriffen **user interface energy efficiency** gesucht und Artikel über das effiziente User Interface Design, die auch

Umfragen über die Akzeptanz verschiedener Maßnahmen für ein effizientes Design von Anwendungen umfassen, gefunden. Eine weitere Suche mit den Begriffen **user interface energy aware** ergab weitere Inhalte mit spezifischen Maßnahmen für die Einsparung von Energie beim Design von User Interfaces. Nach einer Bewertung basierend auf den oben genannten Kriterien wurde damit die Auswahl auf die relevanten Artikel (siehe Anhang) reduziert.

3 Hauptteil

Die drei Hauptziele der Arbeit sind zum einen die Identifizierung von Energieverbrauchern und Möglichkeiten zur Optimierung des Energieverbrauchs und der -effizienz von Anwendungen, zweitens die Betrachtung des Energiebedarfs beim Datentransfer und drittens die Untersuchung von GUIs und deren Energieeffizienz. Die Gliederung im Folgenden ist nach diesen drei Hauptzielen aufgebaut, so dass im ersten Absatz auf die Energieverbraucher und allgemeine Möglichkeiten zur Optimierung von Anwendungen eingegangen wird. Der zweite Absatz fokussiert anschließend das Thema des Datentransfers im Wechselspiel zum Energieverbrauch. Im dritten Absatz wird auf das Thema GUI eingegangen.

3.1 Energieverbraucher und allgemeine Anwendungsoptimierung bei mobilen Anwendungen

Im Folgenden werden einige Energieverbraucher von mobilen Anwendungen identifiziert. Außerdem soll auf allgemeine Möglichkeiten zur Optimierung des Energieverbrauchs eingegangen werden.

3.1.1 Verbrauch verschiedener Bestandteile von Anwendungen

Anwendungen bestehen aus verschiedenen Bestandteilen und einzelnen Prozessen und nutzen wiederum verschiedene Schnittstellen zum Beispiel zur Ansteuerung der Hardware oder für die Kommunikation. Hierbei gibt es verschiedene Teile der Anwendung, die besonders ins Gewicht fallen bzw. auffällige Messwerte zeigen.

Der prozentuale Anteil verschiedener Bestandteile von Anwendung am Energieverbrauch einiger mobiler Anwendungen wurde in der Ausarbeitung **Where is the energy spent inside my app?: fine grained energy accounting on smartphones with Eprof** [PHZ12], die durch Mitarbeiter von Microsoft und der Purdue University durchgeführt wurde, untersucht. Zu den Anwendungen, die untersucht wurden, zählen eine Browserapp, die Spiele Angry Birds und Free Chess, die App der New York Times sowie das Navigationsprogramm MapQuest. In den verschiedenen Anwendungen wurden gängige Interaktionen ausgeführt. Im Browser wurde beispielsweise eine einfache Google-Suche durchgeführt, in Angry Birds eine Runde gespielt, in Free Chess zwei Züge gegen einen Computer gemacht, in der New York Times App ein Inhalt angezeigt und

in MapQuest ein Ort gesucht. Anschließend wurden die Anwendungen wieder geschlossen.

Während der Interaktion mit den Anwendungen wurde jeweils der Energieverbrauch der Anwendung gemessen und verschiedenen Bestandteilen der Anwendung zugeordnet. Insgesamt ergibt sich so im Browser beispielsweise eine Verteilung des Energieverbrauchs zu 38% auf die Hypertext Transfer Protocol (HTTP) Kommunikation, nur 5% auf die Darstellung der GUI und 25% auf die Durchführung von allgemeinen Transmission Control Protocol (TCP) Aufgaben, wie die Bereinigung von Netzwerkverbindungen oder TCP Verbindungen im Leerlauf. Auffällig ist der Anteil von 16%, der auf das Nutzertracking zurückzuführen ist. Je nach aufgerufener Website verwendet der Browser außerdem verschiedenste Hardware. Auf der CNN Website werden beispielsweise lediglich der Netzwerkadapter und natürlich die CPU verwendet, beim Aufruf der Google Suche wird auch eine Positionierung versucht und bei aktiviertem GPS der GPS Adapter verwendet, welcher zusätzliche Energie verbraucht. Die Verteilung des Energieverbrauchs in dem Spiel Angry Birds hält einige Überraschungen bereit. So benötigt das eigentliche Rendern des Spiels nur 20% der Energie. 28% der Energie werden wieder für allgemeine TCP Aufgaben aufgebraucht, die notwendig werden, sobald eine Anwendung über TCP kommuniziert. Der größte Anteil von 45% wird für das Nutzertracking verbraucht, womit Angry Birds das schwächste Verhältnis von Energieverbrauch in der eigentlichen Anwendung im Vergleich zum Nutzertracking unter den untersuchten Anwendungen hat. Auch das Spiel Free Chess überrascht bei der Verteilung des Energieverbrauchs. Hier fällt der größte Anteil des Verbrauchs, etwa 50%, auf Werbung zurück. Jeweils 20% werden für die Darstellung der GUI und die Berechnung der Züge durch die Künstliche Intelligenz (KI) verwendet, 2% fallen auf die Auswertung von Touch-Eingaben zurück. Die App der New York Times benötigt etwa 65% der Energie für den Aufbau der Datenbank, 15% für das Nutzertracking und 18% für allgemeine TCP Aufgaben. MapQuest benötigt 28% für die Verfolgung der Karte, 20% für das Herunterladen von Kartenmaterial und 27% für die Darstellung. [PHZ12]

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Energie in verschiedensten Prozessen und Bestandteilen der Anwendungen verbraucht wird. Offen bleibt eine Bewertung von optionalen Prozessen, wie beispielsweise dem Nutzertracking, welches bei vielen Anwendungen einen vergleichsweise hohen Energieverbrauch hat und einer gründlichen Abwägung bei der Implementierung in weiteren Apps bedarf. Hier bietet sich tendenziell das größte Potential zur Einsparung von Energie, da nur sekundär mit Einschränkungen der Nutzererfahrung zu rechnen ist. Wichtig ist auch die Erkenntnis, dass die Verwendung von GPS auf Websites zu ungewolltem Energieverbrauch führen kann, wenn beispielsweise die Position unbegründet ermittelt wird. Überraschend bleibt weiterhin das Ergebnis, dass in mobilen Spielen viel Energie außerhalb des eigentlichen Spiels aufgewendet wird, um z.B. Werbung darzustellen oder das Nutzertracking auszuführen.

3.1.2 Nutzung von nativen OS Funktionen zur Energieeinsparung

Mobile Betriebssysteme bieten bereits viele Mechanismen, um eine möglichst energiesparsame Implementierung von Anwendungen zu ermöglichen. Dazu zählen Handler für Events des Anwendungslebenszyklus. Diese können bei der Implementierung von Anwendungen verwendet werden um beispielsweise die Berechnung von grafischen Elementen zu pausieren, wenn die Anwendung in den Hintergrund verschoben wird. Aktivitäten in Android Apps haben vier Zustände, zu denen es jeweils verschiedene aufgerufene Event Handler geben kann. Die vier Zustände sind in Betrieb (running), pausiert (paused), gestoppt (stopped) und zerstört (destroyed). Bei einem Wechsel in den Zustand running wird immer der Handler onResume aufgerufen. Je nach vorhergehendem Zustand, beispielsweise bei initialem Öffnen der Anwendung oder nachdem diese gestoppt wurde, werden außerdem weitere Event Handler, wie onCreate und onStart, aufgerufen. Bei einem Wechsel vom Zustand running in den Zustand paused wird der Handler onPause aufgerufen. Bei der Entwicklung von Android Apps empfiehlt sich die strikte Verwendung dieser Event Handler, um nicht notwendige Berechnungen und Aufgaben der Anwendungen zu pausieren oder zu stoppen, sobald diese dem Nutzer keinen Nutzen mehr bringen.

Ein prominentes Beispiel einer Anwendung, in der ein Fehler bei der Verwendung dieser Event Handler gemacht wurde und so ein unnötig hoher Energieverbrauch verursacht wurde, ist die App Zmanim. Beim Start der Anwendung Zmanim wird ein Event Listener für das Reagieren auf Standortänderungen registriert. Bei einer Standortänderung wird die GUI aktualisiert. Bei nicht Verwendung der Anwendung sollte dieser Event Listener allerdings wieder abgemeldet werden, damit nicht unnötig auf Standortänderungen reagiert wird. Hier wurde der Event Handler onDestroy verwendet, der aufgerufen wird, wenn die Anwendung vollständig geschlossen wird. Wurde die App allerdings nur in den Hintergrund verschoben, um z.B. eine andere Anwendung zu verwenden oder der Bildschirm nur temporär gesperrt wurde, hat die Anwendung weiterhin Standortänderungen empfangen und versucht darzustellen, obwohl eine Änderung der GUI keine Auswirkungen hatte. Hier hätten zusätzlich die Event Handler onPause und onStop verwendet werden müssen, um diesen Fehler zu vermeiden.[LXC14]

Grundsätzlich lässt sich also festhalten, dass die Nutzung nativer Mechanismen von Betriebssystemen zu empfehlen ist, so zum Beispiel im Falle von Android die Verwendung der Event Handler onPause, onStop und onDestroy bei der Implementierung von Aktivitäten.

3.1.3 Optimierung von Android Apps mithilfe von zwei Java Best Practices

Viele mobile Anwendungen werden für das Betriebssystem Android entwickelt. Eine der Standardprogrammiersprachen im Bereich Android ist Java, weshalb die Betrachtung von zwei Java Best Practices an dieser Stelle sinnig ist. Die zwei Best Practices stammen von Google und wurden in der Ausarbeitung **Analysis**

and Evaluation of the Android Best Practices Impact on the Efficiency of Mobile Applications [Ton+13] untersucht. Der erste Tipp ist das Vermeiden von getter- und setter-Methoden in objektorientiertem Code, der zweite die Verwendung von for-loops mit vorberechneter Arraylänge für das Iterieren über Arrays anstelle der Nutzung des Iterators for-each. Messungen ergeben, dass die Verwendung des for-loops den Energieverbrauch im Vergleich zur for-each-Schleife von 4,31 Joule auf 2,55 Joule reduziert, also eine Einsparung zwischen 36% und 52% ermöglicht. Das Vermeiden von getter- und setter-Methoden reduziert den Energieverbrauch von 4,31 Joule auf 3,25 Joule, ermöglicht also eine Energieeinsparung zwischen 24% und 27%. Insgesamt lässt sich festhalten, dass bereits kleine Änderungen am Anwendungscode Energieeinsparungen bringen können.[Ton+13]

3.1.4 Vergleich und Evaluierung des Energieverbrauchs verschiedener Websites und ihrer Komponenten

Webanwendungen nehmen immer weiter an Wichtigkeit zu und machen auch bei mobilen Anwendungen einen großen Teil der verwendeten Anwendungstechnologien aus. Es ist also sinnvoll, auch die verschiedenen Bestandteile und Komponenten hinsichtlich ihres Energieverbrauchs zu untersuchen, um so Rückschlüsse auf eine mögliche Optimierung des Energieverbrauchs ziehen zu können.

Die im Folgenden dargestellten Resultate entstammen der Ausarbeitung **Who killed my battery?: analyzing mobile browser energy consumption** [Thi+12]. Im ersten Schritt der Untersuchung wurde der absolute Energieverbrauch verschiedener Websites ermittelt. Unter den Ergebnissen finden sich in absteigender Reihenfolge nach Energieverbrauch beispielsweise die Website apple.com auf dem ersten Platz mit einem Energieverbrauch von etwa 47 Joules. Den zweiten Platz belegt die mobile Version der Website m.wikipedia.org mit etwa 36 Joules. Die Facebook Wall (touch.facebook.com) beispielsweise hat einen Verbrauch von nur etwa 23 Joules und liegt so im Mittelfeld. Im unteren Bereich des Energieverbrauchs finden sich die Seiten m.gmail.com und m.live.com mit den geringen Energieverbräuchen von nur 14 und 13 Joules. Im Vergleich dazu benötigt das Abrufen von kleinen Testdaten, welches als Basismessung dient, nur etwa 12 Joules. Bei den meisten Websites lässt sich erkennen, dass die aufgewendete Energie nur wenig von der Basismessung abweicht, wodurch sich konkludieren lässt, dass die aufgewendete Energie zu einem Großteil für das Abrufen von Daten notwendig wird. Beispielsweise m.gmail.com und m.live.com benötigen gerade einmal 2 bzw. sogar nur 1 Joule zusätzlich zur Basismessung.[Thi+12]

Datenverbrauch Diese Erkenntnis wird auch durch weitere Messungen unterstützt. Hierbei wurden die Websites aus dem Cache aufgerufen, also ohne die Notwendigkeit Daten nachzuladen. Bei dieser Messung benötigt m.gmail.com weniger als 5 Joule, also nur 35,64% des ursprünglichen Verbrauchs ohne Cache, auch m.live.com benötigt nur etwa 37,11% bzw. 5 Joule. Das zeigt, dass sich durch die richtige Verwendung von Caching bereits viel Energie einsparen lässt.[Thi+12]

Bilder Ein weiterer interessanter Teil bei der Betrachtung des Energieverbrauchs verschiedener Prozesse bei der Darstellung von Websites ist das Rendern und das Laden von Bildern. Auf der Website `m.gmail.com` macht das Laden und Rendern von Bildern beispielsweise 6,86% des Gesamtenergieverbrauchs aus. Auf anderen Websites, wie etwa `m.amazon.com` mit vielen Produktbildern, oder `m.picasa.com`, welches fast ausschließlich Bilder enthält, ist der Anteil des Energieverbrauchs, der auf Bilder zurückzuführen ist, etwas höher. So machen auf `m.amazon.com` die Bilder etwa 17,09% des Verbrauchs aus, auf `m.picasa.com` etwa 20,56% oder auf `m.youtube.com` sogar 24,22%. Der Energieverbrauch durch Bilder auf Websites kann reduziert werden, indem die Größe der Bilder angepasst wird. Der Energieverbrauch bei der Nutzung von Bildern steigt annähernd linear mit der Bildgröße an. So ist die Verwendung von kleineren Bildern auf mobilen Geräten mit kleineren Bildschirmen empfehlenswert. Außerdem kann die richtige Wahl des Bildformates eine Rolle spielen. JPEG hat eine bessere Komprimierung als PNG, so dass eine testweise Nutzung von JPEG anstelle von PNG auf den Seiten `m.amazon.com` und `touch.facebook.com` eine Energieeinsparung von 20% und 30% ohne negativen Einfluss auf die Bildqualität brachte.[Thi+12]

Javascript Die Ausführung von Javascript dürfte ein weiterer signifikanter Bestandteil bei der Betrachtung des Energieverbrauchs von Websites sein. Hier ergeben sich Messergebnisse von etwa 16,89% des Gesamtverbrauchs auf der Website `m.amazon.com` oder etwa 15,62% auf der Website `m.picasa.com`. Auf `m.yahoo.com` fallen nur etwa 6,79% des Energieverbrauchs auf Javascript zurück. Der Energieverbrauch ist direkt abhängig von der Größe und Komplexität der Javascript Dateien. Der Energieverbrauch durch Javascript lässt sich reduzieren, indem möglichst nur Funktionen in Javascript Dateien ausgeliefert werden, die auch wirklich auf der jeweiligen Seite verwendet werden. Insbesondere betroffen hiervon sind große Javascript Bibliotheken wie JQuery, die zwar großen Komfort während der Entwicklung bieten, allerdings durch eine größere Anzahl an ungenutzten Funktionen und gestiegenen Dateigrößen zu größerem Energieverbrauch führen. Weitere Einsparungen im Energieverbrauch können außerdem durch die Minimierung von Javascript Dateien erreicht werden, indem unter anderem Leerzeichen entfernt und Funktionsnamen verkürzt werden.[Thi+12]

CSS Die letzte große Komponente von Websites bilden die Cascading Style Sheets (CSS), welche für die Gestaltung der Websites verwendet werden. Je nach Komplexität der Websites fallen auch hier unterschiedlich hohe anteilige Energieverbräuche auf. `m.gmail.com` mit einem sehr einfachen Design beispielweise verbraucht nur etwa 3,05% der Energie für das Rendern und Laden von CSS. Auf `m.amazon.com` werden hingegen 17,57% für CSS verwendet, auf `m.picasa.com` 17,54% und auf `m.youtube.com` 17,38%. Auch der Energieverbrauch von CSS kann durch die Reduzierung der Regeln in Dateien auf das, was auf der Website verwendet wird, deutlich verringert werden.[Thi+12]

Zusammenfassung Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Energieverbrauch in erster Linie mit der Größe der Daten zusammen hängt. Größere Daten benötigen mehr Energie für die Übertragung, außerdem benötigen größere Bilder, Javascript- und CSS-Dateien mehr Energie für die Verarbeitung und die Darstellung. Eine Reduzierung auf das absolut Notwendige bringt hier die einfachsten und besten Ergebnisse und ist daher empfehlenswert. Außerdem macht die Verwendung von geeignetem Caching Sinn, um das wiederholte Übertragen von Daten so gering wie möglich zu halten.

3.2 Datentransfer und Energieverbrauch

Wie bereits festgestellt macht der Datentransfer einen großen Teil des Energieverbrauchs von Anwendungen aus. Im Folgenden soll diese Erkenntnis weiter ausgearbeitet werden. Außerdem ist auch die Findung möglicher Lösungen für den hohen Energieverbrauch beim Datentransfer wichtig, da dieser nur schwer ganzheitlich verhindert werden kann.

3.2.1 Ausnutzung von WLAN und Mobilfunknetzwerken

Für den kabellosen Datentransfer stehen verschiedene Übertragungstechnologien zur Verfügung. Im mobilen Bereich sind die beiden größten und weitverbreitetsten Standards WLAN und das Mobilfunknetz. Es lohnt sich also ein Vergleich der Energieverbräuche der beiden Technologien. In Messungen wurden dazu Daten im Mobilfunknetz und über WLAN übertragen und der zusätzliche Energieverbrauch verschiedener Geräte aufgezeichnet. Bei den Messungen zeigt sich, dass für das Aufbauen einer Verbindung für die Übertragung von Daten über WLAN ein Energieverbrauch zwischen 5-13 Joule anfällt, das Aufbauen einer Verbindung mit dem Mobilfunknetz hingegen benötigt keine zusätzliche Energie, da diese Verbindung dauerhaft aufrechterhalten bleibt. Das Offenhalten der Verbindung benötigt beim Mobilfunknetz auch wesentlich weniger Energie, so dass ein Verbrauch von 1-6 Joule pro Minute zu messen ist. Für WLAN wurden hier, je nachdem, ob der Energiesparmodus eingeschaltet war, zwischen 4-19 Joule bzw. 46-61 Joule pro Minute gemessen, also ein wesentlich höherer Verbrauch als beim Mobilfunknetz. Beim Datentransfer benötigt eine Übertragung über das Mobilfunknetz hingegen wesentlich mehr Energie als über WLAN, so dass für einen Download von einem Megabyte (MB) ein Verbrauch von durchschnittlich 105 Joule zu messen ist, für das Hochladen von einem MB sogar durchschnittlich etwa 207 Joule. Die Übertragung über WLAN benötigt für den Down- und Upload von einem MB nur etwa 5-14 bzw. 5-15 Joule und ist somit für die Übertragung von großen Mengen an Daten also wesentlich energiesparender. Die Untersuchungen zeigen also, dass die Energieprofile der beiden Technologien zur Übertragung von Daten komplementäre Eigenschaften besitzen. Diese Erkenntnis lässt sich nutzen, um einen möglichst geringen Energieverbrauch und somit eine effiziente Übertragung von Daten zu erreichen.[RZ07]

Das Ziel für eine möglichst energieeffiziente Übertragung von Daten müsste

also die optimale Verwendung und der Wechsel zwischen WLAN und Mobilfunk sein. Dabei müssen allerdings einige Schwierigkeiten beachtet und behandelt werden. Das größte Problem ist hierbei, dass die Abdeckung mit WLAN Netzen nicht ansatzweise mit der des Mobilfunknetzes vergleichbar ist und WLAN nicht überall verfügbar ist. Dazu kommt die Schwierigkeit, dass der WLAN-Adapter sehr energiehungrig ist und somit bei Nichtnutzung ausgeschaltet bleiben muss. Das macht eine Erkennung von verfügbaren WLAN Netzwerken schwierig. Es ist eine Schätzung notwendig, mit der geprüft werden kann, wie lohnenswert das Anschalten des WLAN-Adapters in der jeweiligen Situation ist. Ein Ansatz hierbei ist die Nutzung von Kontextinformationen, wie Zeit, die Historie, Qualität des Mobilfunknetzes oder Bewegungen des Gerätes, um zu schätzen wie die Bedingungen der WLAN Verbindung sein werden. Eine Nutzung des Algorithmus in Testversuchen brachte eine Verlängerung der Akkulaufzeit um etwa 35%, was nahe an der theoretischen Grenze von 42% liegt.[RZ07]

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass der geeignete Wechsel zwischen WLAN und Mobilfunknetzen großes Energieeinsparungspotential bieten kann.

3.2.2 Planung des Datenabrufs über Mobilfunknetzwerke

Ein weiterer großer Faktor, der den Energieverbrauch bei der Datenübertragung beeinflusst, ist die Signalstärke. Messungen haben ergeben, dass der Energieverbrauch pro übertragenem Bit bis zu sechs mal höher sein kann, wenn das Signal schwach ist. Ein Ansatz, der diese Erkenntnis für die Planung des Abrufs von Daten möglichst bei optimaler Signalstärke nutzt, ist Bartendr. Der Hauptmechanismus dieses Ansatzes ist die Verzögerung der Kommunikation bis das Gerät an einen Ort mit guter Signalstärke des Mobilfunknetzes kommt. Dieser Ansatz lässt sich in verschiedenen Arten von Anwendungen umsetzen, ohne dabei die Nutzererfahrung zu verändern. Vor allem anwendbar ist Bartendr in Szenarien mit periodischem Datenabruf, zum Beispiel für die Synchronisation von Daten. Innerhalb des Intervalls der Periode kann vor dem eigentlichen Abruf der Daten geprüft werden, ob das Signal des Mobilfunknetzes stark genug ist und ob Daten abgerufen werden müssen. Solange das Intervall der Synchronisierung flexibel genug ist, lässt sich dieser Ansatz sehr leicht anwenden. Außerdem anwendbar ist dieser Ansatz auch in Streaming-Anwendungen, in denen kontinuierliche Datenströme, wie etwa Video oder Audio, abgerufen werden. Solange die Daten rechtzeitig geladen werden können, bevor diese abgespielt werden, würde es keine Probleme verursachen, viele Daten vorzuladen, solange die Verbindung zum Mobilfunknetz stark genug ist und so für Zeiträume, in denen eine schwache Verbindung vorhanden ist, vorzuhalten. Insgesamt brachte das Verschieben bzw. die Planung des Datenabrufs eine Energieeinsparung von bis zu 60%. [Sch+10]

3.3 Optimierung von GUIs für eine hohe Energieeffizienz

Im Folgenden wird auf Optimierungsmöglichkeiten von GUIs eingegangen, indem auf verschiedene Methoden und Ansätze der Energieoptimierung eingegangen wird. Da die Anpassung von GUIs auch direkte Auswirkungen auf die Interaktion mit dem Nutzer haben, wird darüber hinaus auf die Nutzerakzeptanz anhand von Ergebnissen aus Umfragen eingegangen. Größtenteils beziehen sich die gemachten Angaben und Inhalte auf das Betriebssystem Windows XP, welches keinen mobilen Fokus hat. Jedoch kann dieses als repräsentatives GUI für weitere GUIs betrachtet werden und die gemachten Angaben mehr oder weniger auf andere Betriebssysteme übertragen werden.

3.3.1 Energiesparende Darstellung von GUIs

Ein großer Teil der Energie kann durch die Anpassung der Darstellung von GUIs erreicht werden. Hierbei kann einerseits die allgemeine Farbwahl der Elemente zu Ergebnissen führen, indem beispielsweise dunkle Farben, die bei der Darstellung weniger Energie benötigen, präferiert werden. Aber auch die Verwendung von "Fokusbereichen" kann zu Energieeinsparungen führen. Hierbei werden nicht relevante Bereiche der GUI abgedunkelt, ohne jedoch das allgemeine Aussehen der Anwendung anpassen zu müssen und z.B. einen vollständigen Wechsel des Farbschemas notwendig zu machen. Die Abbildung 1 zeigt eine mögliche Gestaltung einer GUI, die Rücksicht auf Energieverbrauch nimmt, jedoch ohne zu großen Eingriff in die allgemeine Farbgestaltung notwendig zu machen.[Har+04]

Bei Messungen ergaben sich bei den beiden GUIs signifikante Energieeinsparungen. Das Benachrichtigungsmenü brachte beispielsweise etwa 42% Energieeinsparung im Vergleich zur herkömmlichen Umsetzung, das Antwortmenü, vermutlich aufgrund des hohen abgedunkelten Bildschirmbereichs, sogar 77% Einsparung.[Har+04]

Es ließen sich folglich mit sehr leichten Maßnahmen Effekte und Einsparungen hinsichtlich des Energieverbrauchs der GUI erreichen.

3.3.2 Optimierung der Interaktion

Neben der Optimierung der GUI hinsichtlich direktem Energieverbrauch bietet sich ein weiterer großer Bereich bei der Optimierung von GUIs durch die Verbesserung der Interaktion durch Nutzer und durch eine Erhöhung der Geschwindigkeit verschiedener Aktionen. Dadurch lässt sich die Zeit verringern, die ein GUI angezeigt werden muss und somit auch direkt der Energieverbrauch. Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Interaktionsgeschwindigkeit sind die Einführung von Hot keys, also Tastenkombinationen, für die Ausführung häufig genutzter Befehle, die Speicherung von häufigen Nutzereingaben, um diese bei weiteren Eingaben vorzuschlagen und die Platzierung von Inhalten für eine optimale und schnellere Wahrnehmung durch den Nutzer. Anstelle von Hot keys könnten für mobile Anwendungen Schnellfunktionstasten bereit gestellt werden. Bei der Darstellung können des Weiteren mithilfe einfacher Mechanismen, wie der seitenweisen Darstellung von Inhalten anstelle einer kontinuierlichen Seite,

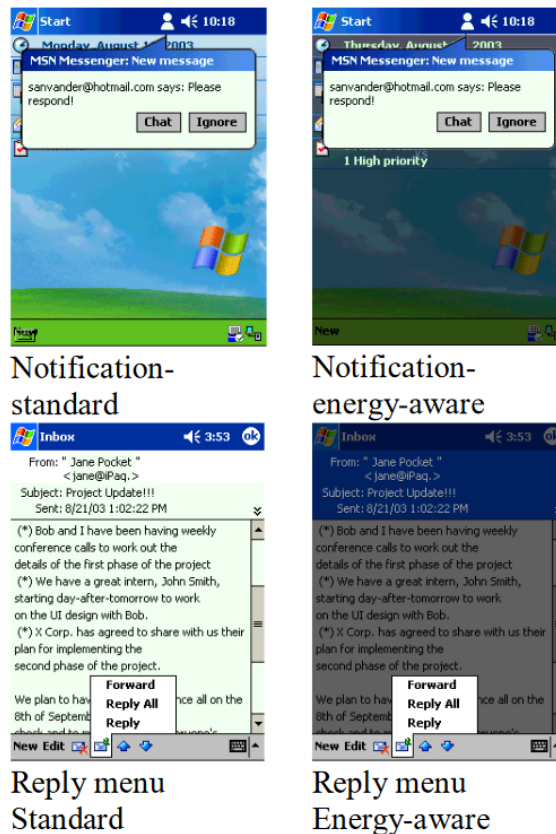


Abbildung 1: Screenshots einer energiesparsamen GUI[Har+04]

die durch Scrollen durchsucht werden kann, die Zeit der Interaktion reduziert werden. Die seitenweise Darstellung hat außerdem den Vorteil, dass Berechnungsoperationen für die Darstellung reduziert werden, da nur ganze Seitenwechsel anstelle von pixelweisem Verschieben der Seite gerendert werden müssen. Bei der testweisen Optimierung eines Programmes zur Anzeige von Texten konnte dabei eine Verbesserung des Energieverbrauchs von durchschnittlich etwa 27% erreicht werden.[VZJ06]

3.3.3 Evaluierung der Nutzerakzeptanz verschiedener GUI Optimierungen

Bei der Optimierung von GUIs spielt auch immer die Akzeptanz der Nutzer, die mit der GUI interagieren, eine Rolle. In einer Umfrage wurden daher verschiedene Aussagen auf Zustimmung oder Ablehnung durch die Nutzer überprüft.

Eine wichtige Erkenntnis, die dabei gewonnen werden konnte, ist die Zustimmung zu der Aussage, dass das Aussehen der GUI zweitrangig ist, wenn dabei die Akkulaufzeit um zwei Stunden erhöht würde. Dieser Aussage stimmen 75% zu, nur 25% lehnen diese ab. Auch zusätzlicher Aufwand für das Lernen einer energieeffizienten GUI würde von 83% in Kauf genommen werden. Vollkommene Zustimmung konnte auf die Aussage erreicht werden, dass GUIs, mit denen schneller gearbeitet werden kann, preferiert werden. Allgemein lässt sich erkennen, dass die Akzeptanz hinsichtlich der Optimierung von GUIs für eine gute Energieeffizienz vorhanden ist.[VZJ06]

4 Zusammenfassung und Ausblick

4.1 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Thema der Energieeffizienz immer wichtiger wird. Durch einfache Maßnahmen lassen sich bereits gute Ergebnisse in der Optimierung des Energieverbrauchs erzielen und somit eine Verlängerung der Akkulaufzeit von mobilen Geräten erreichen. Die notwendigen Maßnahmen sind häufig nicht kompliziert umzusetzen oder schwer aufzufinden und zu verstehen. So lässt sich durch die Nutzung von OS Funktionen und Events bereits ein großer Teil energiehungriger Bestandteile von Anwendungen abschalten, sobald diese nicht mehr benutzt werden. Eine umsichtige Implementierung und Nutzung verschiedener Mechanismen, beispielsweise das Nutzertracking, aber auch allgemein eine Reduzierung des Datentransfers und Nutzung von Caching, bringen Resultate. Einfache Regeln für ein effizientes Anwendungsdesign, wie die Beachtung von Java Best Practices bei der Entwicklung von Android Apps oder die Reduzierung der Javascript und CSS Dateien auf Websites können auch hier Einsparungen im Energieverbrauch bewirken. Durch Nutzung von tiefergehenden Mechanismen, wie der Kontext-sensitiven Nutzung von WLAN und Mobilfunknetzwerken für die Übertragung von verschiedenen Datenmengen, kann Energie eingespart werden, aber auch die Planung des Datentransfers im Mobilfunknetz bei guter Signalstärke bringt Einsparungen und sorgt so für längere Akkulaufzeiten. Abschließend lassen sich auch durch einfache GUI-Anpassungen, wie ein dunkleres Farbschema oder Ausblendung irrelevanter Bestandteile weitere Energiereserven bewahren, aber auch durch die Optimierung von Nutzerinteraktionen optimaler nutzen. Die Akzeptanz durch Nutzer für Änderungen in GUIs ist gegeben und bietet somit ausreichend Potential für weitere Arbeit zu dem Thema.

4.2 Kritische Reflektion

Diese Ausarbeitung befasst sich primär mit der Optimierung von mobilen Anwendungen für das Betriebssystem Android. Viele der Erkenntnisse sind zwar unabhängig von der Plattform, lassen sich also auf andere Systeme oder den Bereich Internet of Things (IoT) übertragen, jedoch bestehen dafür keine kon-

kreten Messergebnisse oder Daten. Eine eingehendere Recherche nach konkreten Inhalten mit direktem Bezug auf IoT wäre daher bei einer weiteren Ausarbeitung von Vorteil gewesen. Auch das Thema GUI kommt in dieser Arbeit aufgrund des Umfangs der ersten beiden Themen etwas zu kurz. Hier wäre bei einer weiteren Ausarbeitung ein stärkerer Fokus auf den Bereich GUI durchaus empfehlenswert, da sich sicherlich noch viele weitere Erkenntnisse in diesem Bereich ableiten lassen können.

4.3 Ausblick

Besonders im Bereich IoT sind weitere Möglichkeiten der Energieeinsparungen interessant. In diesem Bereich ist auch die Verwendung geeigneter Kommunikationstechnologien empfehlenswert. Ein weiterer Vergleich verschiedener Kommunikationstechnologien hinsichtlich des Energieverbrauchs ist daher durchaus denkbar. Mögliche Technologien könnten beispielsweise LoRa, Zigbee, Bluetooth oder BLE sein. Auch der Bereich der Webanwendungen ist sehr aktuell und gewinnt immer mehr an Wichtigkeit bei der Entwicklung von mobilen Anwendungen. Daher wäre auch eine differenzierte Analyse einzelner Bestandteile in den jeweiligen Technologien interessant. So könnte beispielsweise genauer untersucht werden, wie hoch der Energieverbrauch von neuen Webstandards, wie der Verwendung von WebAuthn, ist. Auch eine Untersuchung der Energieeffizienz kompletter Frameworks wäre interessant, so könnte z.B. ein Vergleich zwischen den Webframeworks Angular, React etc. vorgenommen werden. Insgesamt besteht viel Potential bei der Energieoptimierung von Anwendungen.

5 Anhang

Abbildungsverzeichnis

1	Screenshots einer energiesparsamen GUI[Har+04]	15
---	--	----

Literatur

- [Har+04] Tim Harter u. a. “Energy-aware user interfaces: an evaluation of user acceptance”. In: *Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems - CHI '04*. the 2004 conference. Vienna, Austria: ACM Press, 2004, S. 199–206. ISBN: 978-1-58113-702-6. DOI: 10.1145/985692.985718. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=985692.985718> (besucht am 06.04.2022).
- [LXC14] Yepang Liu, Chang Xu und Shing-Chi Cheung. “Characterizing and detecting performance bugs for smartphone applications”. In: *Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering*. ICSE '14: 36th International Conference on Software Engineering. Hyderabad India: ACM, 31. Mai 2014, S. 1013–1024. ISBN: 978-1-4503-2756-5. DOI: 10.1145/2568225.2568229. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2568225.2568229> (besucht am 06.04.2022).
- [PHZ12] Abhinav Pathak, Y. Charlie Hu und Ming Zhang. “Where is the energy spent inside my app?: fine grained energy accounting on smartphones with Eprof”. In: *Proceedings of the 7th ACM european conference on Computer Systems - EuroSys '12*. the 7th ACM european conference. Bern, Switzerland: ACM Press, 2012, S. 29. ISBN: 978-1-4503-1223-3. DOI: 10.1145/2168836.2168841. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2168836.2168841> (besucht am 06.04.2022).
- [RZ07] Ahmad Rahmati und Lin Zhong. “Context-for-wireless: context-sensitive energy-efficient wireless data transfer”. In: *Proceedings of the 5th international conference on Mobile systems, applications and services - MobiSys '07*. the 5th international conference. San Juan, Puerto Rico: ACM Press, 2007, S. 165. ISBN: 978-1-59593-614-1. DOI: 10.1145/1247660.1247681. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1247660.1247681> (besucht am 06.04.2022).
- [Sch+10] Aaron Schulman u. a. “Bartendr: a practical approach to energy-aware cellular data scheduling”. In: *Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking - MobiCom '10*. the sixteenth annual international conference. Chicago, Illinois, USA: ACM Press, 2010, S. 85. ISBN: 978-1-4503-0181-7. DOI: 10.1145/1859995.1860006. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1859995.1860006> (besucht am 06.04.2022).

- [Thi+12] Narendran Thiagarajan u. a. “Who killed my battery?: analyzing mobile browser energy consumption”. In: *Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web - WWW '12*. the 21st international conference. Lyon, France: ACM Press, 2012, S. 41–50. ISBN: 978-1-4503-1229-5. DOI: 10.1145/2187836.2187843. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2187836.2187843> (besucht am 06.04.2022).
- [Ton+13] Aline Rodrigues Tonini u. a. “Analysis and Evaluation of the Android Best Practices Impact on the Efficiency of Mobile Applications”. In: *2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering*. 2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC). Niteroi, Rio De Janeiro, Brazil: IEEE, Nov. 2013, S. 157–158. ISBN: 978-1-4799-3890-2. DOI: 10.1109/SBESC.2013.39. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6825360/> (besucht am 06.04.2022).
- [VZJ06] K.S. Vallerio, Lin Zhong und N.K. Jha. “Energy-efficient graphical user interface design”. In: *IEEE Transactions on Mobile Computing* 5.7 (Juli 2006). Conference Name: IEEE Transactions on Mobile Computing, S. 846–859. ISSN: 1558-0660. DOI: 10.1109/TMC.2006.97.
- [Zan+21] Eljona Zanaž u. a. “Energy Efficiency in Short and Wide-Area IoT Technologies—A Survey”. In: *Technologies* 9.1 (März 2021). Number: 1 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, S. 22. ISSN: 2227-7080. DOI: 10.3390/technologies9010022. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7080/9/1/22> (besucht am 02.05.2022).
- [ZJ] Lin Zhong und Niraj K Jha. “Graphical User Interface Energy Characterization for Handheld Computers”. In: (), S. 11.

Suchergebnisse	Notizen	Ver.
RQ1 - Energiebedarf verschiedener Bestandteile mobiler Anwendungen und Systeme		
Aline Rodrigues Tonini u. a. "Analysis and Evaluation of the Android Best Practices Impact on the Efficiency of Mobile Applications". In: <i>2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering</i> . 2013 III Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC). Niteroi, Rio De Janeiro, Brazil: IEEE, Nov. 2013, S. 157–158. ISBN: 978-1-4799-3890-2. DOI: 10.1109/SBESC.2013.39. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/6825360/ (besucht am 06.04.2022)	Kurzer Artikel, der zwei Best-Practices von Google für die Entwicklung in Java für Android hinsichtlich Laufzeit und Energieverbrauch untersucht und konkrete Messergebnisse liefert. Kriterien Erscheinungsjahr und Informationsgehalt erfüllt. Veröffentlicht über IEEE, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
Ivano Malavolta u. a. "Assessing the Impact of Service Workers on the Energy Efficiency of Progressive Web Apps". In: <i>2017 IEEE/ACM 4th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft)</i> . 2017 IEEE/ACM 4th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft). Buenos Aires, Argentina: IEEE, Mai 2017, S. 35–45. ISBN: 978-1-5386-2669-6. DOI: 10.1109/MOBILESoft.2017.7. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/7972716/ (besucht am 06.04.2022)	Artikel, der Hypothese über Nutzen von Service Workern bei der Energieeffizienz von Websites evaluiert. Leider ist das Ergebnis nicht allzu erfolgreich, weshalb ein eingehen auf SW nicht sinnvoll erscheint. Kriterien Erscheinungsjahr und Informationsgehalt erfüllt. Veröffentlicht über IEEE, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Nein
J. Flinn, SoYoung Park und M. Satyanarayanan. "Balancing performance, energy, and quality in pervasive computing". In: <i>Proceedings 22nd International Conference on Distributed Computing Systems</i> . 22nd International Conference on Distributed Computing Systems. Vienna, Austria: IEEE Comput. Soc, 2002, S. 217–226. ISBN: 978-0-7695-1585-4. DOI: 10.1109/ICDCS.2002.1022259. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/1022259/ (besucht am 06.04.2022)	Artikel über die Verwendung/Verteilung von Rechenleistung auf lokale oder remote Ressourcen in verschiedenen Situationen wie unterschiedlich hohem Energieverbrauch. Leider wenig Bezug zum Energieverbrauch, weshalb Verwendung des Artikels wenig attraktiv erscheint. Kriterium Erscheinungsjahr erfüllt, Informationsgehalt nicht. Veröffentlicht über IEEE, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Nein
Yepang Liu, Chang Xu und Shing-Chi Cheung. "Characterizing and detecting performance bugs for smartphone applications". In: <i>Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering</i> . ICSE '14: 36th International Conference on Software Engineering. Hyderabad India: ACM, 31. Mai 2014, S. 1013–1024. ISBN: 978-1-4503-2756-5. DOI: 10.1145/2568225.2568229. URL: https://dl.acm.org/doi/10.1145/2568225.2568229 (besucht am 06.04.2022)	Guter Artikel über Performance Bugs bei Android Anwendungen, allerdings einige Inhalte nicht direkt auf Energieverbrauch bezogen, daher fast nur der Teil Energy Bugs interessant. Kriterium Erscheinungsjahr erfüllt, Informationsgehalt leider nur teilweise. Veröffentlicht über ACM, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Teils
Yepang Liu, Chang Xu und Shing-Chi Cheung. "Diagnosing Energy Efficiency and Performance for Mobile Internetwork Applications". In: <i>IEEE Software</i> 32.1 (Jan. 2015), S. 67–75. ISSN: 0740-7459. DOI: 10.1109/MS.2015.4. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/7030255/ (besucht am 06.04.2022)	Nur nochmal Zusammenfassung des Artikels zur Charakterisierung von Android App Performance Bugs, daher keine Primärquelle.	Nein

Abhinav Pathak, Y. Charlie Hu und Ming Zhang. "Where is the energy spent inside my app?: fine grained energy accounting on smartphones with Eprof". In: <i>Proceedings of the 7th ACM european conference on Computer Systems - EuroSys '12</i> . the 7th ACM european conference. Bern, Switzerland: ACM Press, 2012, S. 29. ISBN: 978-1-4503-1223-3. DOI: 10.1145/2168836.2168841. URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2168836.2168841 (besucht am 06.04.2022)	Artikel, der vor allem verschiedene Bestandteile von Apps nennt und wieviel (prozentual) Energie diese verbrauchen. Zum Beispiel werden Tracking, HTTP und GUI Aufgaben bezüglich ihres Energieverbrauchs in Relation gesetzt. Kriterien Erscheinungsjahr und Informationsgehalt erfüllt. Veröffentlicht über ACM, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
Narendran Thiagarajan u. a. "Who killed my battery?: analyzing mobile browser energy consumption". In: <i>Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web - WWW '12</i> . the 21st international conference. Lyon, France: ACM Press, 2012, S. 41–50. ISBN: 978-1-4503-1229-5. DOI: 10.1145/2187836.2187843. URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2187836.2187843 (besucht am 06.04.2022)	Guter Artikel über den Verbrauch verschiedener Bestandteile vor allem von Websites. Es wird vor allem auch auf konkrete Inhalte wie unterschiedliche Bildformate und JS, CSS etc. eingegangen. Kriterien Erscheinungsjahr und Informationsgehalt erfüllt. Veröffentlicht über ACM, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
RQ2 - Faktoren und Optimierungsmöglichkeiten für Energiebedarf von Datentransfer		
Aaron Schulman u. a. "Bartendr: a practical approach to energy-aware cellular data scheduling". In: <i>Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking - MobiCom '10</i> . the sixteenth annual international conference. Chicago, Illinois, USA: ACM Press, 2010, S. 85. ISBN: 978-1-4503-0181-7. DOI: 10.1145/1859995.1860006. URL: http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1859995.1860006 (besucht am 06.04.2022)	Sehr guter Artikel über das Data-Scheduling im Cellular Netzwerk, viele konkrete Daten über den tatsächlichen Verbrauch unter verschiedenen Bedingungen und ein konkreter, brauchbarer Lösungsansatz. Kriterien Informationsgehalt und Konkretheit erfüllt. Veröffentlicht über ACM, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
Ahmad Rahmati und Lin Zhong. "Context-for-wireless: context-sensitive energy-efficient wireless data transfer". In: <i>Proceedings of the 5th international conference on Mobile systems, applications and services - MobiSys '07</i> . the 5th international conference. San Juan, Puerto Rico: ACM Press, 2007, S. 165. ISBN: 978-1-59593-614-1. DOI: 10.1145/1247660.1247681. URL: http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1247660.1247681 (besucht am 06.04.2022)	Guter Artikel über Vergleich Wi-Fi/Cellular Netzwerk und in welchen Situationen welche Technologie besser verwendet werden könnte. Kriterien Informationsgehalt und Konkretheit erfüllt. Veröffentlicht über ACM, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
Niranjan Balasubramanian, Aruna Balasubramanian und Arun Venkataramani. "Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications". In: (), S. 14	Ein weiterer Artikel über verschiedene Netzwerktechnologien und deren Verbrauch, weniger geeignet, da zu unspezifische Ergebnisse genannt werden. Kriterien Informationsgehalt und Konkretheit nicht erfüllt.	Nein

Eljona Zanaaj u. a. "Energy Efficiency in Short and Wide-Area IoT Technologies—A Survey". In: <i>Technologies</i> 9.1 (März 2021). Number: 1 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, S. 22. ISSN: 2227-7080. DOI: 10.3390/technologies9010022. URL: https://www.mdpi.com/2227-7080/9/1/22 (besucht am 02.05.2022)	Sehr guter Artikel, der vor allem verschiedene IoT Kommunikationstechnologien und Mechanismen zur Energieeinsparung nennt. Kriterien Informationsgehalt und Konkretheit erfüllt. Veröffentlicht über MDPI, damit Kriterium Glaubwürdigkeit ausreichend erfüllt.	Nein
RQ3 - Energieeffizienz von GUIs		
Tim Harter u. a. "Energy-aware user interfaces: an evaluation of user acceptance". In: <i>Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems - CHI '04</i> . the 2004 conference. Vienna, Austria: ACM Press, 2004, S. 199–206. ISBN: 978-1-58113-702-6. DOI: 10.1145/985692.985718. URL: http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=985692.985718 (besucht am 06.04.2022)	Guter Artikel, der einige konkrete Methoden für allgemeines UI Design nennt. Vor allem wird hier auch die Nutzerakzeptanz betrachtet und konkrete Umfrageergebnisse aufgelistet. Kriterien Repräsentativität und Informationsgehalt erfüllt. Veröffentlicht über ACM, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
K.S. Vallerio, Lin Zhong und N.K. Jha. "Energy-efficient graphical user interface design". In: <i>IEEE Transactions on Mobile Computing</i> 5.7 (Juli 2006). Conference Name: IEEE Transactions on Mobile Computing, S. 846–859. ISSN: 1558-0660. DOI: 10.1109/TMC.2006.97	Sehr guter Artikel über Optimierungsmöglichkeiten von Mobilien UIs. Außerdem Nutzerakzeptanzumfrage mit sehr konkreten Inhalten. Beispielhafte Messung von Energieverbrauch anhand eines optimierten UI Frameworks und somit sehr konkret. Kriterien Repräsentativität und Informationsgehalt erfüllt. Veröffentlicht über IEEE, damit Kriterium Glaubwürdigkeit erfüllt.	Ja
Lin Zhong und Niraj K Jha. "Graphical User Interface Energy Characterization for Handheld Computers". In: (), S. 11	Enthält konkrete Messdaten über den Energieverbrauch verschiedener Vorgänge bei grafischen Anwendungen, somit sehr interessant. Kriterien Repräsentativität und Informationsgehalt erfüllt.	Nein

Tabelle 1: Literaturliste zum Rechercheprotokoll