

Nachhaltigkeit in der Softwareentwicklung

Ein Vorschlag zur alltagstauglichen Integration des ökologischen Fußabdrucks

Malte Räuchle, Jochen Wittmann¹

Abstract: Unter dem Aspekt der nachhaltigen Entwicklung von Software stellt das vorliegende Paper einen Widerspruch zwischen den üblicherweise nur im Nachhinein gemessenen Nachhaltigkeitskriterien für ein Software-Projekt und dem prozessbegleitenden Feedback- und Optimierungsgedanken des Agilen Softwareparadigmas fest. Durch die Heranziehung von sehr einfachen und pauschalisierenden Kriterien zur Abschätzung des ökologischen Fußabdrucks eines Software-Projektes gelingt es, den Projektteilnehmern bereits während der Projektlaufphase die Möglichkeit zu geben, die Nachhaltigkeitsmasse dynamisch zu beeinflussen. Damit wird der Gedanke des kontinuierlichen Feedbacks auch auf das Thema Nachhaltigkeit übertragen und bietet einen Ansatzpunkt für weitere unternehmenspolitische Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Software-Entwicklung.

Keywords: Nachhaltigkeit, Metriken, Softwareentwicklung; Agiler Prozess

1 Nachhaltigkeit und Software-Entwicklungsprozess

Der technische Fortschritt als Abbild der Globalisierung und der ständig wachsenden und international verflochtenen Gesellschaft unserer Zeit hält fortschreitend in verschiedensten gesellschaftlichen Teilaspekten Einzug [BU10]. Diese voranschreitende weltumspannende Vernetzung verändert nicht nur das alltägliche Leben, sondern beeinflusst darüber hinaus die Umwelt. Falls die Menschheit den Herausforderungen der Zukunft und den enormen ressourcentechnischen Ansprüchen gewachsen sein will, muss der Aspekt Nachhaltigkeit, der Umgang mit natürlichen Ressourcen und der Schutz der Umwelt in den Vordergrund gestellt werden [BU17]. Dabei ist es essentiell, nicht nur die klassischen Bereiche der Umweltpolitik, wie die Begrenzung, Verringerung und Vermeidung von Emissionen, zu betrachten, sondern auch den Blick auf den Technologiesektor zu richten. Der Grundgedanke beinhaltet die Vorstellung, dass sich innovative Gedankengänge auf technischer Ebene mit der Umweltpolitik vereinen, um andersartige Märkte für Umwelttechnologien und Nachhaltigkeit erschließbar zu machen [BU08].

Ziel dieses Beitrags ist es, diesen Nachhaltigkeitsgedanken auf den Softwareentwicklungsprozess zu übertragen. Für eine Definition des Nachhaltigkeitsbegriffes soll an dieser Stelle auf die Arbeit von Zschach verwiesen werden, wonach sich

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft, Fachbereich 2, Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin,
[Malte.Raeuchle | Jochen.Wittmann@htw-berlin.de]

die Nachhaltigkeit im Wesentlichen auf die Nutzung von Ressourcen bezieht und als ökologische, wirtschaftliche und soziale Handlungsweise beschrieben werden kann [ZS20]. Typisch für die agile Softwareentwicklung ist es, dass iterativ, also in Zyklen entwickelt wird und die Entwicklung in kleinen Schritten und unter kontinuierlicher Einbeziehung von Feedback sämtlicher Akteure erfolgt [WR15].

Die Nachhaltigkeit von Software und Softwareentwicklungsprojekten ist Thema unterschiedlicher Arbeiten (z.B. [AL10], [AR15], [NA15]). Dort wird untersucht, inwieweit die Softwareentwicklung Einfluss auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte, also auf Nachhaltigkeit, hat und wie diese Einflüsse messbar gemacht werden können. Die konventionelle Bestimmung und Beurteilung von Nachhaltigkeit erfolgt dabei in der Regel im „Nachhinein“, was dem Gedanken des direkten Feedbacks innerhalb des agilen Software-Entwicklungsprozesses widerspricht und daher auch keine Möglichkeit besteht, das Nachhaltigkeitsmaß noch während des laufenden Prozesses zu beeinflussen. Dementsprechend ist das Ziel dieser Ausarbeitung die Bestimmung eines sehr einfach messbaren Kriteriums für eine transparente und datenbasierte Auswertung und Bewertung der Nachhaltigkeit innerhalb eines agilen Software-Entwicklungsprozesses.

2 Eine vereinfachte Abschätzung des ökologischen Fußabdrucks

Das Kriterium des “Ökologischen Fußabdruckes” unterstellt den Verbrauch natürlicher Ressourcen und die Betrachtung genereller Umweltauswirkungen einer Software oder eines Softwareproduktes innerhalb seines agilen Entwicklungsprozesses [AL10]. Es wird die Fragestellung behandelt, wie die Gesellschaft, speziell Unternehmen, mit der wachsenden Nachfrage nach Rohstoffen und deren Endlichkeit umgeht. Themen wie Konsum und Nachhaltigkeit, Energie- und Ressourcenverbrauch, persönliche Verantwortung und die Globalisierung stehen im Fokus. Zudem kann durch die Betrachtung und Bewertung des Fußabdruckes der Kraftstoffverbrauch und die damit verursachten Emissionen reduziert, die Büroflächenausnutzung optimiert und die Nutzung gemeinsamer Ressourcen maximiert werden [AL10]. Mithilfe des Kriteriums ist es interessierten Benutzergruppen möglich, die „Effektivität möglicher Maßnahmen auf eine nachhaltige Entwicklung abzuschätzen“ und aufgrund der Messbarkeit datengestützte, effektive Handlungsmaßnahmen zu erarbeiten, die direkt innerhalb der Softwareentwicklung angewandt werden können [SBS10]. Der ökologische Fußabdruck wird aktuell unter anderem durch Metriken, wie *Work-From-Home Days* und *Long-Haul Roundtrips*, definiert und dargestellt [AL10]. Mithilfe dieser Metriken ist die Nachhaltigkeit lediglich in einem geringen Maß transparent skalierbar und im Alltag nicht praktikabel, da sie nicht auf Abruf messbar sind. Daher beschreiben die folgenden Ausführungen hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks progressive Metriken, die die Nachhaltigkeit erfassbar, skalierbar und im Alltag anwendbar machen. Dahingehend beschreibt der

ökologische Fußabdruck eines vollständigen, agilen Softwareentwicklungsprozesses ein exzellentes Instrument zur Vermittlung einer nachhaltigen Entwicklungsideologie.

Im Folgenden wird ein Ansatz vorgestellt, der es erlaubt, das Kriterium des ökologischen Fußabdrucks unkompliziert zu messen bzw. zu steuern. Die Idee ist dem agilen SW-Entwicklungsparadigma nachempfunden: Die Messverfahren sollen so gut wie möglich in den bestehenden Softwareentwicklungsprozess integrierbar sein und der Aufwand möglichst klein gehalten werden. Die Wahl soll in einem Ausmaß erfolgen, dass die Verfahren trotz ihrer Einfachheit eine hohe Aussagekraft haben und einen Vergleich während der Projektlaufzeit, sowie auch einen Vergleich mit anderen Projekten erlauben. Außerdem soll aus dem Verfahren heraus ersichtlich sein, wo das Team ansetzen kann, um die Nachhaltigkeitsleistung zu erhöhen. Übergeordneter Ansatz dieser Metrik ist zum einen die Betrachtung der Messung vor Ort am Arbeitsplatz im Unternehmen und zum anderen die Messung in der eigenen Wohnung im Zuge der Ausübung mobiler Arbeit. Aufgrund der aktuellen Situation rund um die SARS-CoV-2 Pandemie und deren tiefgreifende Auswirkung auf alle Bereiche der Gesellschaft ist das Modell des mobilen Arbeitens alltäglicher Bestandteil unserer Arbeitskultur geworden. Unternehmen aus den unterschiedlichsten Wirtschaftszweigen bieten ihren Mitarbeitern daher flexible Arbeitszeitmodelle an, die eine Unabhängigkeit vom eigentlichen Standort des Unternehmens gewährleisten [DO18]. Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die folgenden Ausführungen allein auf die Erfassung der Art und Weise der An- und Abfahrt der Arbeitnehmer*innen zum Arbeitsplatz und die Schätzung des mittleren Stromverbrauches am Arbeitsplatz. Die beiden Verfahren zeichnen sich im Gegensatz zu bestehenden Vorgehensweisen, wie der Erfassung von *Work-From-Home Days* und *Long-Haul Roundtrips*, durch eine einfache und im Arbeitsalltag schnell durchführbare Anwendbarkeit und Messbarkeit aus.

2.1 An- und Abfahrt der Arbeitnehmer*innen zum Arbeitsplatz

Bei diesem Verfahren wird die Messung während der mobilen Arbeitsphase nicht betrachtet, da keine Fahrt zum Arbeitsplatz erfolgt.

Der tägliche Weg zur Arbeit stellt eine bedeutsame Quelle für die Produktion von Emissionen dar und verursacht zusammenhängend einen wesentlichen Betrag an auszugleichenden Umweltkosten. Aufgrund dessen ist es essentiell, eine tägliche Kontrolle der verursachten Emissionen zu gewährleisten, wenn die Nachhaltigkeit innerhalb eines Projektes einen zentralen Gegenstand verkörpert. Dadurch ist das Unternehmen in der Position, kurzfristig auf hohe Emissionswerte reagieren zu können. Die Erfassung des durch Mitarbeiter*innen genutzten Verkehrsmittels erfolgt direkt beim Check-In zu Arbeitsbeginn oder im Zuge der täglichen Zusammenkunft beim gemeinschaftlichen und täglich abgehaltenen Projektmeeting. Es empfiehlt sich die Nutzung des eigenen Intranets zur Eintragung der Daten und zur allgemeinen Veröffentlichung der Ergebnisse auf Basis der verursachten Treibhausgasemissionen. Dabei sind pro Person nur wenige Angaben notwendig, nämlich die für den Arbeitsweg

bevorzugten Verkehrsmittel und die mit dem jeweiligen Verkehrsmittel zurückgelegte Strecke. Gegebenenfalls kann die Liste der Alternativen noch um eine gemischte Verkehrsmittelnutzung im Sinne eines Modal Split erweitert werden. Zudem muss die zurückgelegte Distanz nicht für jeden Arbeitstag gesondert eingetragen werden, da das übliche Streckenprofil nur einmal direkt beim Projektstart hinterlegt wird. Diesbezüglich ist nur noch die Angabe der tagesaktuellen Wahl der Alternative sowie die Angabe der tagesaktuellen Auslastung als zusätzlicher Parameter zu tätigen. Die Einbeziehung der Auslastung als zusätzlichen Parameter erscheint auf den ersten Blick ungewöhnlich, ist aber sinnvoll, dadieser Wert mit großem Gewicht in die Berechnung der Kennzahlen einfließt. Das Resultat der Erfassung impliziert eine umgehende Rückmeldung bezüglich verursachter Treibhausgasemissionen und dem daraus abzuleitenden Beitrag zur Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens. Die Einbeziehung der Auslastung ermöglicht so zwar eine realitätsnahe Berechnung der CO₂-Last, andererseits stellt sie jedoch einen Faktor dar, der durch das Unternehmen nur in einem geringen Maß beeinflusst werden kann. Gemäß dieser Berechnungsvorschrift generiert eine Fahrt zu Stoßzeiten eine bessere Emissionsbilanz. Dabei bleiben allerdings die Kosten und Ineffizienzen an anderer Stelle im Gesamtsystem, beispielsweise bei der Fahrtenplanung des ÖPNV, unberücksichtigt. Andererseits bleiben die Einflussmöglichkeiten des Managements auf der Ebene des Projektes darauf beschränkt, entweder durch eine Anpassung der Arbeitszeiten oder durch die Ermöglichung einer flexiblen Zeiteinteilung die Bilanz der Mitarbeiter*innen verbessern. Eine Übersicht über die wichtigsten Verkehrsmittel zusammen mit den entsprechenden Emissionswerten zeigt die folgende Tabelle (vgl. Abb. 1).

Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland – Bezugsjahr 2019

Verkehrsmittel		Treibhausgase ¹	Kohlenmonoxid	Flüchtige Kohlenwasserstoffe ⁴	Stickoxide	Partikel ⁵	Auslastung
Pkw	g / Pkm	143	0,95	0,14	0,39	0,006	1,5 Pers./Pkw
Flugzeug, Inland		214 ²	0,30	0,10	0,98	0,011	70%
Eisenbahn, Fernverkehr		29 ³	0,02	0,00	0,03	0,001	56%
Linienbus, Fernverkehr		29	0,01	0,01	0,05	0,001	55%
sonstige Reisebusse ⁶		32	0,04	0,01	0,12	0,002	64%
Eisenbahn, Nahverkehr		55	0,04	0,01	0,19	0,004	28%
Linienbus, Nahverkehr		80	0,06	0,03	0,29	0,005	19%
Straßen-, Stadt- und U-Bahn		55	0,03	0,00	0,05	0,002	19%

g/Pkm = Gramm pro Personenkilometer, inkl. der Emissionen aus der Bereitstellung und Umwandlung der Energieträger in Strom, Benzin, Diesel und Kerosin

Quelle: TREMOD 6.14

Umweltbundesamt, 11/2020

Abb. 1: Abfrage nach Art der Auslastung des Verkehrsmittels [UM20]

Das Resultat der Dokumentation der Verkehrsmittelwahl begründet die Erstellung eines unternehmensinternen Punktesystems, welches die Umweltwirkung des verwendeten Transportmittels transparent für alle Mitarbeiter*innen des Unternehmens darlegt und somit den direkten Einfluss auf die Umwelt sichtbar darstellt. Ein im Intranet hinterlegter Emissionsrechner wandelt die eingetragenen Daten in Punkte oder eine Emissions-Ampel-Darstellung um, wodurch die Angestellten über den Zeitraum eines Projektes, eines

Monats oder eines Jahres ihren Umwelteinfluss stetig im Blick haben können. In Verbindung mit dem individuellen Punktestand könnte das Management Boni gewähren, die ein umweltfreundliches Verhalten belohnen (z.B. zusätzliche Urlaubstage, Vorteilskarten für den ÖPNV, Gutscheine für Kinderbetreuung, ...).

2.2 Schätzung des Stromverbrauches durch Arbeitsgeräte am Arbeitsplatz

In diesem Absatz wird die Messung des Stromverbrauches am Arbeitsplatz, abgebildet und erläutert, inwiefern dieses Verfahren den ökologischen Fußabdruck eines Projektes messbar darstellen kann. Zusätzlich wird der Heizverbrauch betrachtet, der als zweiter Aspekt seinen Teil zum Energieverbrauch beiträgt.

Im Gegensatz zum ersten Verfahren erfolgt nicht nur die Betrachtung des Arbeitsplatzes im Unternehmen, sondern auch die Messung des Stromverbrauches in der Wohnung während der Ausübung mobiler Arbeit. Die Messung und Quantifizierung der Energiemenge dient als direktes Verfahren zur Bestimmbarkeit der Nachhaltigkeitsleistung eines Unternehmens, da die Darstellung in Zahlen unmittelbare Schwächen bezüglich eines umweltschädlichen Bedarfes aufdecken kann. Die Messgrößen wurden bewusst einfach ausgewählt, um eine unkomplizierte, aber trotzdem aussagekräftige Aussage für die Einschätzung der Nachhaltigkeit treffen zu können.

Der nachstehende Abschnitt versucht nun relevante Faktoren für den Stromverbrauch am Arbeitsplatz zu identifizieren. Dabei muss zwischen Home-Office und Büro unterschieden werden. Innerhalb der mobilen Art der Arbeitsausübung werden die in Tabelle 3 aufgeführten Geräte und Nutzungscharakteristika betrachtet. Der Stromverbrauch des Laptops und des Monitors verweist auf die Nutzung an 220 Tagen im Jahr und wird mit einer aktiven Nutzungszeit von sechseinhalb Stunden (Laptop) und sechs Stunden (Monitor) am Tag bemessen [ST15]. Für eine bessere Vergleichbarkeit werden für die Verbräuche von Laptop und Monitor die standardisierten Referenzwerte des Büroarbeitsplatzes verwendet. Für den Verbrauch an Strom des Scanners und des Smartphones bezieht man sich auf eine Nutzung an 365 Tagen im Jahr, wobei für das Smartphone ein Ladezyklus pro Tag veranschlagt wird [ST15]. Die Beleuchtung im Home Office wird durch drei LED-Lampen repräsentiert, die an 1000 Stunden im Jahr genutzt werden [VE15]. Geräte wie Drucker, Scanner, Kopierer und Faxgeräte weisen eine so geringe Größenordnung des Strombedarfs auf, dass eine differenzierte Betrachtung im Rahmen der Untersuchung nicht erforderlich ist.

Faktor	Nutzungs- muster in Tagen	Nutzungs- muster in Stunden/Tag	Strom- verbrauch in kWh / Tag	Strom- verbrauch in kWh / Monat	Strom verbrauch in kWh / Jahr
Laptop	220	6,5	0,086	2,58	31
Monitor	220	6	0,111	3,33	40

Smartphone	365	1* Laden/Tag	0,008	0,24	2,9
Beleuchtung	41,66	4,5	0,125	3,75	45

Tab. 1: Stromverbrauch im Home Office [ST15]

Der Stromverbrauch, basierend auf den in der Tabelle 1 dargestellten Werten, summiert sich auf 118,9 Kilowattstunden/Jahr. Dabei wird vorausgesetzt, dass Arbeitnehmer*innen nicht im Besitz eines Desktop-PCs sind, sondern ihre arbeitsbezogenen Aufgaben ausschließlich über einen Laptop mit angeschlossenem zweitem Monitor ausführen. Zudem wird berücksichtigt, dass Arbeitnehmer*innen hauptsächlich ein Smartphone für berufliche Telefonate verwenden und nicht auf ein Festnetztelefon zurückgreifen.

Dieser Berechnung wird nun ein Büroarbeitsplatz gegenübergestellt. Tabelle 2 zeigt die berücksichtigten Faktoren. Der Stromverbrauch des Desktop-PCs und des Laptops verweist auf die Nutzung an 220 Tagen im Jahr und wird mit einer aktiven Nutzungszeit von sechseinhalb Stunden am Tag bemessen [ST15]. Der Einsatz des Monitors ist ebenfalls auf 220 Tage ausgelegt, allerdings mit einer Nutzung von sechs Stunden am Tag [ST15]. Im Gegensatz dazu erfolgt die Betrachtung des Multifunktionsgerätes, des Faxgerätes und des Telefons hinsichtlich des Stromverbrauches an 365 Tagen im Jahr [ST15]. Abschließend stellt die Beleuchtung des Arbeitsplatzes durchschnittlich die Hälfte des gesamten Stromverbrauches dar.

Faktor	Nutzung s-muster in Tagen	Nutzungs- muster in Stunden/Ta- g	Strom- verbrauch h in kWh /Tag	Strom- verbrauch h in kWh /Monat	Strom- verbrauch h in kWh /Jahr
Desktop-PC	220	6,5	0,18	5,42	65
Laptop	220	6,5	0,086	2,58	31
Monitor	220	6	0,111	3,33	40
Multifktionsgerät	365	/	0,138	4,16	50
Faxgerät	365	0,5	0,188	5,66	68
Telefon	365	24	0,111	3,33	40
Beleuchtung	/	/	0,408	12,25	147

Tab. 2: Stromverbrauch im Büro [ST15]

Der Stromverbrauch am Arbeitsplatz im Unternehmen beläuft sich in der Summe nach den Angaben der Tabelle auf 294 Kilowattstunden/Jahr. Die Arbeit am Arbeitsplatz im Büro ist deutlich umfassender als die Arbeit im Home Office, da unterschiedliche Geräte genutzt werden können. Die Inanspruchnahme eines Desktop PCs, eines Faxgerätes oder eines Multifunktionsgerätes resultiert demzufolge in einem deutlich höheren Stromverbrauch als im Home Office.

2.3 Schätzung des Energieverbrauches am Arbeitsplatz durch Heizungsnutzung

Abgesehen von der Betrachtung des Stromverbrauches ist der Energieverbrauch durch das Beheizen der Arbeitsfläche ebenfalls von Bedeutung und wird im Folgenden erläutert. Dieser Verbrauch stellt ein weiteres Element dar, wird im Rahmen der Untersuchung zur Bewahrung der Verständlichkeit komprimiert erwähnt, jedoch nicht detailliert betrachtet. Im konkreten Fall einer näheren Untersuchung kann eine Anpassung des Detaillierungsgrades erfolgen. Die Tabelle 3 zeigt eine übersichtliche Darstellung des Energieverbrauches, angegeben in Kilowattstunden, durch die Heiznutzung in einer Wohnung und in einem Büro.

Faktor	Energieverbrauch in kWh je qm/Tag	Energieverbrauch in kWh je qm/Monat	Energieverbrauch in kWh je qm/Jahr
Wohnen	0,33	10,16	122
Büro	0,19	5,76	69,2

Tab. 3: Heizverbrauch Wohnung und Büro [UR17]

Aus den Werten lässt sich entnehmen, dass der Energieverbrauch pro Quadratmeter innerhalb eines Jahres in einer privaten Wohnung deutlich höher ausfällt als in einem Büro. Dies kann durch die größere Fläche eines Büros erklärt werden, wodurch der Verbrauch von Energie auf eine weiter gefasste Fläche verteilt wird. Allerdings bleibt hier für eine erste Überschlagsrechnung nicht berücksichtigt, dass auch die nicht genutzte heimische Wohnung auf eine Mindesttemperatur beheizt werden muss und hier eigentlich nur der Grenz-Aufwand für das Aufheizen von dieser Grundtemperatur auf eine Wohntemperatur zu berücksichtigen wäre.

3 Vergleichszahlen für ein fiktives Softwareentwicklungsprojekt

Für die Untersuchung erfolgt die Annahme, dass die Arbeitsleistung inklusive des Strom- und Heizenergieverbrauches und des Arbeitsweges am Büroarbeitsplatz, bezogen auf den Stand der Nachhaltigkeit und den damit einhergehenden Umweltauswirkungen, als konventioneller Ansatz angesehen wird und entsprechend den aktuellen Status Quo repräsentiert. Das mobile Arbeiten ist daher als nachhaltige Alternative zur konventionellen Ausübung der Arbeit definiert. Exemplarisch erfolgt abschließend eine Gegenüberstellung der erwähnten Ansätze für ein agiles Softwareentwicklungsprojekt mit der Dauer von drei Monaten, im Büro und Home Office. Der Arbeitsweg wird in CO₂-Äquivalenten, der Strom- und Heizverbrauch in Kilowattstunden angegeben.

Arbeitsweg [CO ₂ - Äquiv.]	Strom- verbrauch [kWh]	Heiz- verbrauch [kWh]
188,76	36,73	17,28

Tab. 4: Ansatz 1 – Büro

Arbeitsweg [CO ₂ - Äquiv.]	Strom- verbrauch [kWh]	Heiz- verbrauch [kWh]
/	29,7	30,48

Tab. 5: Ansatz 2 – Home Office

Aufgrund der dargestellten Messergebnisse erfolgt während einer Projektdauer von drei Monaten durch die Verlagerung der Arbeit in die eigene Wohnung eine Reduzierung des Stromverbrauches um 7,03 Kilowattstunden und ein Wegfall der Emissionsbelastungen durch die Vermeidung des Fahrtweges zum Unternehmen. Betrachtet man die gegenteilige Perspektive, kann lediglich ein verringerter Heizverbrauch um 13,20 Kilowattstunden innerhalb des definierten Zeitraums festgestellt werden. Insgesamt lässt sich dementsprechend hinsichtlich der Nachhaltigkeitsperformance sagen, dass durch die Umstrukturierung der Arbeit ins Home Office eine Verbesserung herbeigeführt werden kann und für eine Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung eine gezielte Abwägung von Arbeitstagen im Büro und Arbeitstagen im Home Office erfolgen muss.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Papers war es, ein Kriterium darzustellen, das die Nachhaltigkeit im Softwareentwicklungsprozess beschreibt und entsprechende Verfahren zur Messung dieses Kriteriums auszuarbeiten. Dabei lag der Fokus darauf, die Verfahren und Messungen möglichst einfach und praktikabel zu halten, sowie eine hohe Objektivität zu erreichen, sodass zu jedem Zeitpunkt eine mit Daten fundierte Aussage über die Nachhaltigkeitsleistung im Entwicklungsprojekt getätigt und Vergleiche mit anderen Projekten durchgeführt werden können. Im Rahmen der Arbeit wurde das bereits in der

Literatur bekannte Nachhaltigkeitskriterium des ökologischen Fußabdrucks ausgewählt. Die Ausarbeitung hat gezeigt, dass die beschriebenen Messverfahren in Bezug auf Praktikabilität, Objektivität und Aussagekraft verbessert werden konnten. Im Ergebnis liegen nun ein Vorschlag vor, mit dem eine Umsetzung der Messung dieser Kriterien in der täglichen Praxis möglich ist. Im nächsten Schritt wäre es nun sinnvoll, dies im Rahmen eines Modellversuches zu validieren. Dabei wäre es auch von Interesse zu prüfen, ob das Entwicklungsteam aus den Messungen tatsächlich Erkenntnisse gewinnen und die Nachhaltigkeitsleistung verbessern kann. Schließlich könnten Messverfahren und Metriken in ähnlicher Form für weitere Nachhaltigkeitskriterien ausgearbeitet werden. Albertao et al. (2010) und Naumann et al. (2015) schlagen das Kriterium *Portabilität* vor, das Aufschluss darüber gibt, auf wie vielen Hardware-Systemen eine Software läuft. Dies ist ökologisch relevant, weil eine starke Einschränkung auf gewisse Hardware zu einer verkürzten Lebensdauer von anderen Hardware-Systemen führen kann. Interessant wäre auch ein einfaches und praktisches Messverfahren für den Energieverbrauch der Software selbst zu finden. Ansätze dazu gibt es zum Beispiel bei Ardito et al. (2015). Dies ist allerdings nur eine Auswahl an weiteren Nachhaltigkeitskriterien, die im Zuge dieser Arbeit in der engeren Auswahl standen. Inwieweit diese eine Aussage über die Nachhaltigkeitsleistung geben oder überhaupt messbar sind, muss also noch in zukünftigen Arbeiten geprüft werden.

Literaturverzeichnis

- [AL10] Albertao, F., Xiao, J., Tian, C., Lu, Y., Zhang, K. Q., & Liu, C.: Measuring the sustainability performance of software projects. In (2010 IEEE 7th International Conference on E-Business Engineering), S. 369-373, 2010.
- [AR15] Ardito, L.; Procaccianti, G.; Torchiano, M.; Vetro, A.: Understanding green software development: A conceptual framework. In (IT Professional), S. 44-50, 2015.
- [BU17] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, <https://www.bmu.de/themen/europa-internationales-nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltige-entwicklung/strategie-und-umsetzung/nachhaltigkeit-als-handlungsauftrag/>, Stand: 25.03.2021.
- [BU08] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/wirtschaft-und-umwelt/umwelttechnologien/masterplan-umwelttechnologien/>, Stand: 24.03.2021.
- [BU10] Bundeszentrale für politische Bildung, <https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/>, Stand: 12.02.2021.
- [DO18] Dobmeier, N.: Home-Office vs. Büro – Der Kampf um die Effektivität., <https://www.accenon.de/blog-home-office-vs-buero-der-kampf-um-die-effektivitaet/>, Stand: 14.01.2021.
- [HA20] Haase, A.: Corporate Sustainability: So wichtig ist Nachhaltigkeit für Unternehmen., <https://blog.hubspot.de/sales/sustainability> Stand: 01.02.2021.

- [NA15] Naumann, S.; Kern, E.; Dick, M.; Johann, T.: Sustainable software engineering: process and quality models, life cycle and social aspects. In (ICT Innovations for Sustainability), S. 191-205, 2015.
- [SBS10] Schemel, B.; Draeger, I.; Schmidthals, M.: Der ökologische Fußabdruck. Multivision, Hamburg, 2010.
- [SFD20] Schelewsky, M.; Follmer, R.; Dickmann, C.: CO2-Fußabdrücke im Alltagsverkehr. In (Umweltbundesamt): Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, S. 38, 2020.
- [ST15] Stobbe, L. et.al.: Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie Projekt-Nr. 29/14, S.116 – 177, 2015.
- [SW14] Schmidt, B.; Wytzisk, A.: Software Engineering und Integrative Nachhaltigkeit. In (Informatik 2014), S. 1935-1937, 2014.
- [UM15] Umweltbundesamt: Umwelttipps für den Alltag, <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/bus-bahn-fahren#unsere-tipps>, Stand: 10.01.2021.
- [UM17] Umweltbundesamt, Umwelttipps für den Alltag, <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/bus-bahn-fahren#unsere-tipps>, Stand: 05.05.2021.
- [UM18] Umweltbundesamt: Umweltverträglichkeit von Software ist jetzt meßbar, <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/umweltvertraeglichkeit-von-software-ist-jetzt>, Stand: 15.02.2021.
- [UR17] Urbansky, F.: Energiebedarf von Bürogebäuden ermitteln., <https://www.enwipo.de/2017/03/07/energiebedarf-von-bueroegebaeuden-ermitteln/>, Stand: 25.02.2021.
- [VE15] Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V.: Energieverbrauch von Lampen., https://www.verbraucherzentrale-rlp.de/sites/default/files/migration_files/media234424A.pdf, Stand: 18.02.2021.
- [WR15] Wolf, H.; Roock, S.: Agile Softwareentwicklung. Ein Überblick. dpunkt-Verlag, Heidelberg, S. 3, 2015.
- [ZS20] Zschach, M.: Nachhaltigkeit. In (Zeit im Lebensverlauf), transcript-Verlag, S. 227-228, 2020.