



Nachhaltigkeit in der Softwarearchitektur –
Entwicklung eines Modells zur Bewertung und Optimierung
ressourcenschonender Architekturen

Masterarbeit

zur Erlangung des Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz
Universität Hannover

vorgelegt von

Name, Vorname: Occhipinti, Anna-Lena



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Betreuerin: M. Sc. Fenja Schulte

Bad Nenndorf, den 03.03.2025

Research Summary

1. Einleitung und Motivation

Die Digitalisierung erhöht die Komplexität und Abhängigkeit von IT-Systemen, was Auswirkungen auf die Wirtschaft, Umwelt, Technik und Gesellschaft hat (Malich, 2007). Der steigende Ressourcenbedarf von IT-Systemen führt zu höherem Energieverbrauch, Treibhausgasemissionen und Herausforderungen bei Herstellung und Entsorgung, welches Kosten und Umweltbelastung steigert (Mahmoud & Ahmad, 2013; Malich, 2007). Das Spannungsfeld zwischen digitalem Fortschritt und Umweltfolgen erfordert Lösungen, die wirtschaftliche, soziale und ökologische Ziele vereinen, ohne die IT-Effizienz zu gefährden (Sonnet et al., 2023). Politische Maßnahmen und gesellschaftlicher Druck verstärken die Notwendigkeit nachhaltiger Strategien (Kett et al., 2024; Rothmund, 2021). Green IT wird zunehmend relevant, wobei bislang hauptsächlich Hardwarelösungen berücksichtigt werden, während nachhaltige Softwareentwicklung noch unzureichend behandelt wurde (Naumann et al., 2011). Softwaresysteme bieten jedoch Potenzial für ressourcenschonende Maßnahmen (Penzenstadler et al., 2014). Nachhaltige Softwareentwicklung sollte negative Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft minimieren (Salam & Khan, 2018). Eine stabile Architektur ist erforderlich, um den steigenden Integrations- und Standardisierungsanforderungen gerecht zu werden (Shaw & Garlan, 1996; Ross et al., 2006). Nachhaltige Softwarearchitektur sollte energieeffiziente Systeme fördern und die Komplexität reduzieren, um Flexibilität und Effizienz zu steigern (Guillemette & Paré, 2012; Tamm et al., 2011). Der Aufbau einer solchen Architektur ist jedoch herausfordernd, da Architekturentscheidungen oft auf veraltetem Wissen basieren und unzureichend dokumentiert sind (Capilla et al., 2016; Kruchten, 2011; van Heesch et al., 2013). Ein umfassendes Monitoring und Nachverfolgbarkeit von Architekturentscheidungen sind für eine nachhaltige Geschäftsstrategie entscheidend (Widjaja & Gregory, 2020; de Reuver et al., 2018). Die bestehende Forschung befasst sich mit Nachhaltigkeit in der Softwareentwicklung, ohne explizit die Softwarearchitektur zu betrachten. Diese Lücke motiviert die vorliegende Arbeit, die ein Modell zur Bewertung und Optimierung ressourcenschonender Softwarearchitekturen entwickelt. Ziel ist es, Nachhaltigkeit in der Softwarearchitektur zu definieren und ein Modell zu gestalten, das Softwarearchitekten bei der Einführung und Optimierung ressourcenschonender Architekturen unterstützt.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Software und Softwarequalität

Software umfasst alle immateriellen Komponenten eines Computersystems, einschließlich Programme, Daten und Anweisungen, die Hardware steuern und spezifische Aufgaben ermöglichen (Gabler, 2025a). Qualitätsattribute sind entscheidend für die Entwicklung von Softwaresystemen, da sie Anforderungen definieren und architektonische Entscheidungen

ab. Im Laufe der Arbeit wird immer wieder darauf hingewiesen, dass die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit nicht isoliert voneinander betrachtet werden können. Außerdem weisen auch die identifizierten Nachhaltigkeitsaspekte innerhalb einer jeweiligen Dimension Wechselwirkungen positiver und negativer Natur auf. Die Abbildungen der verschiedenen Komponenten des Reifegradmodells repräsentieren jedoch keine der zuvor erwähnten Abhängigkeiten, weder zwischen den vier Nachhaltigkeitsdimensionen, noch zwischen den Aspekten innerhalb der Dimensionen der Nachhaltigkeit. Bei der alleinigen Betrachtung der Abbildungen ist es daher möglich, dass eine isolierte Betrachtung der Inhalte stattfindet, ist. Darüber hinaus konnte keine ex-post-Evaluation des Modells durchgeführt werden. Dies bildet einen der zentralen Kritikpunkte ab, da so keine abschließende Validierung des Modells stattgefunden hat. Eine abschließende Evaluation in Form einer quantitativen Forschungsmethodik würde die wissenschaftliche und praktische Relevanz des Modells bestätigen. Woraus eine empirische Bewertung das Ergebnis der Arbeit als geeignetes Instrument für die praktische Anwendung und die Wirksamkeit in tatsächlichen Architekturprinzipien belegen kann.

Zusammenfassend birgt die Forschung zu dem Thema Nachhaltigkeit in der Softwarearchitektur zahlreiche Herausforderungen. Das entwickelte Modell stellt einen ersten strukturierten Ansatz zur Nachhaltigkeitsbewertung dar, erfordert jedoch eine vor allem einheitliche Kennzahlen zur Bewertung von Nachhaltigkeit und eine empirische Validierung. Diese Limitationen verdeutlichen die Notwendigkeit weiterer Forschung, insbesondere in den Bereichen Messbarkeit von Nachhaltigkeit in der Softwarearchitektur, Integration unterschiedlicher Unternehmensgrößen und -strukturen sowie der quantitativen Validierung von Nachhaltigkeitsmodellen.

7. Fazit und Ausblick

Diese Untersuchung zeigt, dass nachhaltige Softwarearchitektur nicht nur eine technische, sondern eine mehrdimensionale Herausforderung darstellt. Über den ökonomischen Aspekt hinaus ist die Einbeziehung technischer, ökologischer und sozialer Faktoren in architektonische Entscheidungen entscheidend für die Entwicklung langfristig tragfähiger Softwarelösungen. Das entwickelte Reifegradmodell bietet eine erste strukturierte Grundlage zur Bewertung nachhaltiger Architekturen, stößt jedoch an Grenzen, da es aktuell keine etablierten Standards für die Messung von Nachhaltigkeit gibt. In der Wirtschaft ist zu beobachten, dass Unternehmen nachhaltige Architekturmaßnahmen selten implementieren, es sei denn, sie generieren einen wirtschaftlichen Vorteil. Daher ist es erforderlich, nachhaltige Softwarearchitektur stärker als wirtschaftlichen Vorteil zu positionieren, etwa durch die Reduzierung von Wartungsaufwand und Betriebskosten. Diese Forschung sollte untersuchen, wie festgelegte Metriken und Standards entwickelt werden können, um den messbaren Einfluss nachhaltiger Architekturen

zu berücksichtigen. Ein vielversprechender Forschungsansatz ist die stärkere Automatisierung der Nachhaltigkeitsbewertung, etwa durch KI-gestützte Analysetools. Darüber hinaus sollten Unternehmen stärker auf die Bedeutung sozialer Nachhaltigkeitsaspekte achten. Zukünftige Forschungsarbeiten könnten sich verstärkt mit der Frage befassen, wie Nachhaltigkeitskriterien systematisch in Architekturentscheidungen integriert werden können, ohne die wirtschaftliche Flexibilität zu beeinträchtigen. Vor allem die Standardisierung von Bewertungsmetriken und die empirische Validierung von Nachhaltigkeitsstrategien in der Praxis sind dabei von entscheidender Bedeutung. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass Nachhaltigkeit in der Softwarearchitektur ein kontinuierlicher Optimierungsprozess ist, der technologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Faktoren gleichermaßen berücksichtigen muss. Infolgedessen hat die vorliegende Arbeit eine theoretische Basis geschaffen, auf dessen Basis zukünftige Forschungen und praktische Implementierung betrieben werden können.