

Curriculum für

Certified Professional for
Software Architecture (CPSA)[®]

Advanced Level

Modul
GREEN

**Green Software - Entwicklung ressourceneffizienter
Anwendungen**

LocalBuild-DE-20260205



Inhaltsverzeichnis

Lernziele im Überblick	2
Einführung: Allgemeines zum iSAQB Advanced Level	3
Was vermittelt ein Advanced Level Modul?	3
Was können Absolventen des Advanced Level (CPSA-A)?	3
Voraussetzungen zur CPSA-A-Zertifizierung	3
Grundlegendes	4
Was vermittelt das Modul „GREEN“?	4
Struktur des Lehrplans und empfohlene zeitliche Aufteilung	4
Dauer, Didaktik und weitere Details	5
Voraussetzungen	5
Gliederung des Lehrplans	5
Ergänzende Informationen, Begriffe, Übersetzungen	5
1. Klimawandel, Chancen der Digitalisierung, Rolle der IT, Basiskonzepte	6
1.1. Begriffe und Konzepte	6
1.2. Lernziele	6
1.3. Referenzen	6
2. Prinzipien, Regulatorik und Auswirkungen auf Unternehmen	7
2.1. Begriffe und Konzepte	7
2.2. Lernziele	7
2.3. Referenzen	7
3. Qualität	8
3.1. Begriffe und Konzepte	8
3.2. Lernziele	8
3.3. Referenzen	8
4. Messen und Monitoring	9
4.1. Begriffe und Konzepte	9
4.2. Lernziele	9
4.3. Referenzen	10
5. Softwareentwicklung	11
5.1. Begriffe und Konzepte	11
5.2. Lernziele	11
5.3. Referenzen	11
6. Softwarearchitektur	12
6.1. Begriffe und Konzepte	12
6.2. Lernziele	12
6.3. Referenzen	12
7. Betrieb	13

7.1. Begriffe und Konzepte	13
7.2. Lernziele	13
7.3. Referenzen	14
8. Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit	15
8.1. Begriffe und Konzepte	15
8.2. Lernziele	15
8.3. Referenzen	16
9. Energieeffizienter Entwicklungsprozess	17
9.1. Begriffe und Konzepte	17
9.2. Lernziele	17
9.3. Referenzen	17
Referenzen	18

© (Copyright), International Software Architecture Qualification Board e. V. (iSAQB® e. V.) 2026

Die Nutzung des Lehrplans ist nur unter den nachfolgenden Voraussetzungen erlaubt:

1. Sie möchten das Zertifikat zum CPSA Certified Professional for Software Architecture Foundation Level® oder CPSA Certified Professional for Software Architecture Advanced Level® erwerben. Für den Erwerb des Zertifikats ist es gestattet, die Text-Dokumente und/oder Lehrpläne zu nutzen, indem eine Arbeitskopie für den eigenen Rechner erstellt wird. Soll eine darüber hinausgehende Nutzung der Dokumente und/oder Lehrpläne erfolgen, zum Beispiel zur Weiterverbreitung an Dritte, Werbung etc., bitte unter info@isaqb.org nachfragen. Es müsste dann ein eigener Lizenzvertrag geschlossen werden.
2. Sind Sie Trainer oder Trainingsprovider, ist die Nutzung der Dokumente und/oder Lehrpläne nach Erwerb einer Nutzungs Lizenz möglich. Hierzu bitte unter info@isaqb.org nachfragen. Lizenzverträge, die alles umfassend regeln, sind vorhanden.
3. Falls Sie weder unter die Kategorie 1. noch unter die Kategorie 2. fallen, aber dennoch die Dokumente und/oder Lehrpläne nutzen möchten, nehmen Sie bitte ebenfalls Kontakt unter info@isaqb.org zum iSAQB e. V. auf. Sie werden dort über die Möglichkeit des Erwerbs entsprechender Lizzenzen im Rahmen der vorhandenen Lizenzverträge informiert und können die gewünschten Nutzungsgenehmigungen erhalten.

Wichtiger Hinweis

Grundsätzlich weisen wir darauf hin, dass dieser Lehrplan urheberrechtlich geschützt ist. Alle Rechte an diesen Copyrights stehen ausschließlich dem International Software Architecture Qualification Board e. V. (iSAQB® e. V.) zu.

Die Abkürzung "e. V." ist Teil des offiziellen Namens des iSAQB und steht für "eingetragener Verein", der seinen Status als juristische Person nach deutschem Recht beschreibt. Der Einfachheit halber wird iSAQB e. V. im Folgenden ohne die Verwendung dieser Abkürzung als iSAQB bezeichnet.

Lernziele im Überblick

- LZ 1-1: Globale Herausforderungen des Klimawandels kennen und beachten
- LZ 1-2: Möglichkeiten zur Einsparung von Energie durch Digitalisierung kennen
- LZ 1-3: Energieverbrauch von IT einordnen, beziffern und deren Treiber kennen
- LZ 1-4: Handlungsfelder für das Einsparen von CO₂ kennen
- LZ 2-1: Regulatorik und deren Anforderungen kennen
- LZ 2-2: Greenhouse Gas Protocol kennen und anwenden
- LZ 2-3: Energieeffizienz als Handlungsfeld im Unternehmen platzieren
- LZ 2-4: Kennen der Stakeholder im Kontext von Green IT und deren Priorisierungen
- LZ 3-1: Qualitätsmodelle und deren Bezug zu Energieeffizienz kennen
- LZ 3-2: Umgang mit den Wechselwirkungen zwischen Qualitätsattributen und Energieeffizienz
- LZ 4-1: Ressourcen in Relation zur erbrachten Leistung bringen
- LZ 4-2: Messmethodiken kennen und anwenden
- LZ 4-3: Messverfahren und Messwerkzeuge kennen und einsetzen
- LZ 5-1: Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in der Softwareentwicklung kennen
- LZ 5-2: Effekte und Möglichkeiten von Optimierungen kennen
- LZ 5-3: Verfahren für energieeffizientes Datenhandling kennen und anwenden
- LZ 6-1: Architeurstile und deren Bezug zu Energieeffizienz kennen und verstehen
- LZ 6-2: Kommunikation und deren Auswirkungen auf Energieeffizienz kennen
- LZ 6-3: Datenbankmodelle und deren Eigenschaften in Bezug auf Energieeffizienz kennen
- LZ 6-4: Spezifische Green IT Pattern kennen und anwenden
- LZ 7-1: Energieeffizienz von Rechenzentren und Hardware beziffern
- LZ 7-2: Cloud Service & Deployment Modelle kennen und bezüglich Energieeffizienz beurteilen
- LZ 7-3: Cloud-Anbieter nach ökologisch-nachhaltigen Aspekten bewerten und auswählen
- LZ 7-4: Betriebliche Antipatterns kennen
- LZ 7-5: CO₂-Optimierung in der Cloud vornehmen
- LZ 8-1: Ökologische Auswirkungen von KI-Systemen kennen
- LZ 8-2: Energieeffiziente KI-Architekturen bewerten
- LZ 8-3: Optimierungstechniken für KI-Modelle kennen und einordnen
- LZ 8-4: Zielkonflikte zwischen Qualität und Energieeffizienz bei KI-Systemen erkennen
- LZ 9-1: CI/CD-Strategien und deren Ressourcenbedarf kennen
- LZ 9-2: Optimierung der CI/CD Prozesse durchführen
- LZ 9-3: Optimierung der Infrastruktur vornehmen
- LZ 9-4: Teststrategie optimieren

Einführung: Allgemeines zum iSAQB Advanced Level

Was vermittelt ein Advanced Level Modul?

Das Modul kann unabhängig von einer CPSA-F-Zertifizierung besucht werden.

- Der iSAQB Advanced Level bietet eine modulare Ausbildung in drei Kompetenzbereichen mit flexibel gestaltbaren Ausbildungswegen. Er berücksichtigt individuelle Neigungen und Schwerpunkte.
- Die Zertifizierung erfolgt als Hausarbeit. Die Bewertung und mündliche Prüfung wird durch vom iSAQB benannte Expert:innen vorgenommen.

Was können Absolventen des Advanced Level (CPSA-A)?

CPSA-A-Absolventen können:

- eigenständig und methodisch fundiert mittlere bis große IT-Systeme entwerfen
- in IT-Systemen mittlerer bis hoher Kritikalität technische und inhaltliche Verantwortung übernehmen
- Maßnahmen zur Erreichung von Qualitätsanforderungen konzeptionieren, entwerfen und dokumentieren sowie Entwicklungsteams bei der Umsetzung dieser Maßnahmen begleiten
- architekturelle Kommunikation in mittleren bis großen Entwicklungsteams steuern und durchführen

Voraussetzungen zur CPSA-A-Zertifizierung

- erfolgreiche Ausbildung und Zertifizierung zum Certified Professional for Software Architecture, Foundation Level® (CPSA-F)
- mindestens drei Jahre Vollzeit-Berufserfahrung in der IT-Branche; dabei Mitarbeit an Entwurf und Entwicklung von mindestens zwei unterschiedlichen IT-Systemen
 - Ausnahmen sind auf Antrag zulässig (etwa: Mitarbeit in Open-Source-Projekten)
- Aus- und Weiterbildung im Rahmen von iSAQB-Advanced-Level-Schulungen im Umfang von mindestens 70 Credit Points aus mindestens drei unterschiedlichen Kompetenzbereichen
- erfolgreiche Bearbeitung der CPSA-A-Zertifizierungsprüfung



Grundlegendes

Was vermittelt das Modul „GREEN“?

Galt die IT lange Zeit als Lösung vieler Probleme, die in Zusammenhang mit dem Klimawandel stehen, ist sie mittlerweile selbst Gegenstand von Optimierungsbetrachtungen geworden. Ineffiziente Programmierung, oft hervorgerufen durch die Notwendigkeit eines schnellen Time-to-market, wurde vielfach durch immer schnellere Hardware oder mehr Ressourcen in der Cloud kompensiert. Diesen Weg gilt es zu verlassen. Die CO₂-Emissionen, die durch Software entstehen, müssen konsequent reduziert werden. Zusätzlich verschärft der zunehmende Einsatz von KI-basierten Systemen diese Problematik, da insbesondere das Training und der Betrieb großer Modelle mit einem erheblichen Energie- und Ressourcenverbrauch einhergehen.

Im Modul GREEN lernen die Teilnehmenden, das Thema Green Software ganzheitlich zu betrachten. Dies beginnt mit der Rolle der IT beim Aufhalten des Klimawandels, einer Einführung in die aktuelle Regulatorik, den Anforderungen verschiedener Stakeholder sowie der Benennung von Handlungsfeldern in Unternehmen. Von dort geht es über das Messen und Monitoring von CO₂-Emissionen und Energieverbrauch hin zum Kernthema der Softwareentwicklung. In diesem zentralen Bereich werden die Energieeffizienz verschiedener Softwarearchitekturen, energieeffizientes Datenhandling und optimierte Algorithmen behandelt. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Einfluss von KI-Systemen – von der Entwicklung ressourcenschonender Modelle bis hin zur Bewertung des Energiebedarfs von Trainings- und Inferenzprozessen. Zudem wird der Zusammenhang zwischen Qualitätsanforderungen und Energieeffizienz analysiert, etwa wie Performance, Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit in Einklang gebracht werden können. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist das Thema Cloud-Computing, sowohl in Bezug auf die Auswahl nachhaltiger Provider als auch auf die Möglichkeiten eines CO₂-armen Betriebs. Abschließend werden Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Entwicklungsprozess betrachtet.

Am Ende des Moduls kennen die Teilnehmenden die wesentlichen Hebel, um CO₂ in der IT zu reduzieren. Sie können die Auswirkungen von Softwarearchitekturen und KI-Lösungen auf die Energiebilanz einschätzen, Fallstricke beim Datenhandling identifizieren und die Konsequenzen der Auswahl technischer Komponenten bewerten. In Bezug auf die Cloud wissen sie, wie sie die angebotenen Dienste und Tools gezielt für eine energieeffiziente KI- und Softwareentwicklung nutzen können.

Struktur des Lehrplans und empfohlene zeitliche Aufteilung

Inhalt	Empfohlene Mindestdauer (min)
1. Klimawandel, Chancen der Digitalisierung, Rolle der IT, Basiskonzepte	45
2. Prinzipien, Regulatorik und Auswirkungen auf Unternehmen	60
3. Qualität	45
4. Messen und Monitoring	135
5. Softwareentwicklung	75
6. Softwarearchitektur	150
7. Betrieb	105
8. Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit	60
9. Energieeffizienter Entwicklungsprozess	45
Summe	720 (12h)

Dauer, Didaktik und weitere Details

Die unten genannten Zeiten sind Empfehlungen. Die Dauer einer Schulung zum Modul GREEN sollte mindestens 2 Tage betragen, kann aber länger sein. Anbieter können sich durch Dauer, Didaktik, Art und Aufbau der Übungen sowie der detaillierten Kursgliederung voneinander unterscheiden. Insbesondere die Art der Beispiele und Übungen lässt der Lehrplan komplett offen.

Lizenzierte Schulungen zu GREEN tragen zur Zulassung zur abschließenden Advanced-Level-Zertifizierungsprüfung folgende Credit Points) bei:

Methodische Kompetenz:	10 Punkte
------------------------	-----------

Technische Kompetenz:	10 Punkte
-----------------------	-----------

Kommunikative Kompetenz:	0 Punkte
--------------------------	----------

Voraussetzungen

Teilnehmerinnen und Teilnehmer **sollten** folgende Kenntnisse und/oder Erfahrung mitbringen:

- Praktische Erfahrung in Entwurf und Entwicklung kleiner bis mittelgroßer Softwaresysteme
- Kenntnisse über den Lebenszyklus von Softwaresystemen
- Umgang mit Qualitätsanforderungen
- Praktische Erfahrung beim Monitoring von Softwaresystemen
- Praktische Programmiererfahrung

Hilfreich für das Verständnis einiger Konzepte sind darüber hinaus:

- Erste praktische Erfahrungen mit Performance Engineering
- Erste praktische Erfahrung mit gängigen Cloud-Anbietern
- Erste praktische Erfahrung mit CI/CD-Pipelines

Gliederung des Lehrplans

Die einzelnen Abschnitte des Lehrplans sind gemäß folgender Gliederung beschrieben:

- **Begriffe/Konzepte:** Wesentliche Kernbegriffe dieses Themas.
- **Unterrichts-/Übungszeit:** Legt die Unterrichts- und Übungszeit fest, die für dieses Thema bzw. dessen Übung in einer akkreditierten Schulung mindestens aufgewendet werden muss.
- **Lernziele:** Beschreibt die zu vermittelnden Inhalte inklusive ihrer Kernbegriffe und -konzepte.

Dieser Abschnitt skizziert damit auch die zu erwerbenden Kenntnisse in entsprechenden Schulungen.

Ergänzende Informationen, Begriffe, Übersetzungen

Soweit für das Verständnis des Lehrplans erforderlich, haben wir Fachbegriffe ins [iSAQB-Glossar](#) aufgenommen, definiert und bei Bedarf durch die Übersetzungen der Originalliteratur ergänzt.

1. Klimawandel, Chancen der Digitalisierung, Rolle der IT, Basiskonzepte

Dauer: 45 Min.

Übungszeit: keine

1.1. Begriffe und Konzepte

Klimawandel, Verbrauch von IT, Einsparungen durch IT, Einsparungen in IT, Nachhaltigkeit, CO₂, CO₂-Äquivalente, CO₂-Intensität, CO₂-Fußabdruck, CO₂-Handabdruck, negative externe Effekte, Watt, Joule, Effizienz, Effektivität

1.2. Lernziele

LZ 1-1: Globale Herausforderungen des Klimawandels kennen und beachten

Die Teilnehmenden kennen die globalen Herausforderungen des Klimawandels. Sie kennen den steigenden Energie- und Ressourcenbedarf der IT und deren wesentliche Treiber. Sie können erklären, wieso sich auch die IT mit dem Thema Ressourcen- und Energieeffizienz beschäftigen muss.

LZ 1-2: Möglichkeiten zur Einsparung von Energie durch Digitalisierung kennen

Die Teilnehmenden kennen die Möglichkeiten zur Einsparung von Energie und CO₂ durch die Digitalisierung. Sie kennen die Sektoren, die besonders von Digitalisierung profitieren. Der Unterschied zwischen Einsparungen in der IT und durch die IT ist bekannt.

LZ 1-3: Energieverbrauch von IT einordnen, beziffern und deren Treiber kennen

Die Teilnehmenden können den Energieverbrauch der Informationstechnik beziffern, können diesen in Relation zu anderen Sektoren einordnen und die wesentlichen Treiber benennen. Sie kennen Trends und Entwicklungen in der IT und zentrale Stellschrauben für mehr Nachhaltigkeit.

LZ 1-4: Handlungsfelder für das Einsparen von CO₂ kennen

Die Teilnehmenden kennen die Handlungsfelder zum Einsparen von CO₂:

- Energieeffizienz - Verbrauche so wenig Energie wie möglich.
- Hardwareeffizienz - Beanspruche so wenig Hardware wie möglich.
- CO₂-Emissionseffizienz - Verbrauche Energie möglichst dann und dort, wo sie am "grünsten" erzeugt wird.

1.3. Referenzen

[bitkom 2021], [Brundtland 1987]

2. Prinzipien, Regulatorik und Auswirkungen auf Unternehmen

Dauer: 60 Min.

Übungszeit: keine

2.1. Begriffe und Konzepte

Energieeffizienz, Zertifizierungen (z. B. Blauer Engel, TCO), Regulatorische Anforderungen (z. B. CSRD, ESD), Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol)

2.2. Lernziele

LZ 2-1: Regulatorik und deren Anforderungen kennen

Die Teilnehmenden kennen die Regulatorik und die darin enthaltenen Anforderungen zur Einsparung von CO₂. Sie kennen die vorhandenen Zertifizierungen, beispielsweise den Blauen Engel, und können diese adäquat in ihrer Arbeit einsetzen. Die Teilnehmenden kennen Standards wie ESG (Environmental Social Governance) und CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) und deren Auswirkungen und Konsequenzen für Unternehmen.

LZ 2-2: Greenhouse Gas Protocol kennen und anwenden

Die Teilnehmenden kennen das Greenhouse Gas Protocol (GHP). Sie sind in der Lage die Scopes zu erklären und Emissionen den Scopes zuzuordnen. Sie können erklären, welche Scopes beim Betrieb von Software in der Cloud oder On Premise betroffen sind. Die Teilnehmenden kennen die ISO 14064-1 als Ableitung des Greenhouse Gas Protocols.

LZ 2-3: Energieeffizienz als Handlungsfeld im Unternehmen platzieren

Die Teilnehmenden kennen die Motivation, um Green Software im Unternehmen zu platzieren und Argumentationen und die Adressaten für eine erfolgreiche Verankerung im Unternehmen. Sie können sinnvolle Ziele für die Reduktion von Treibhausgasen für Unternehmen setzen. Die Teilnehmenden können erklären, welche Anforderungen Dritte entlang der Wertschöpfungskette haben und wie sich diese auf das eigene Unternehmen auswirken.

LZ 2-4: Kennen der Stakeholder im Kontext von Green IT und deren Priorisierungen

Die Teilnehmenden kennen die Anforderungen der verschiedenen Stakeholder an energieeffiziente Software und die daraus resultierenden Handlungsfelder. Sie kennen die Bereiche, bei denen die größten Hebel für die Reduktion von Treibhausgasen bestehen und können Maßnahmen entsprechend priorisieren. Die Teilnehmenden können unterschiedliche Softwaresysteme klassifizieren und Aufwand und Nutzen einer Optimierung erkennen.

2.3. Referenzen

[Greenhouse Gas Protocol], [ISO 14064-1]

3. Qualität

Dauer: 30 Min.

Übungszeit: 15 Min.

3.1. Begriffe und Konzepte

Qualitätsmodell, Qualitätsszenarien, Qualitätsziele, ISO 25010, arc42

3.2. Lernziele

LZ 3-1: Qualitätsmodelle und deren Bezug zu Energieeffizienz kennen

Die Teilnehmenden kennen unterschiedliche Qualitätsmodelle und können Qualitätsattribute zum Thema Energieeffizienz beschreiben und in die Qualitätsmodelle einordnen. Darüber hinaus sind die Teilnehmenden in der Lage Qualitätsszenarien für Qualitätsattribute im Bereich Energieeffizienz zu formulieren. Abhängig vom Einsatzzweck und dem Mengengerüst der Anwendung können sie bewusst darüber entscheiden, ob die Qualitätskriterien für die Anwendung oder für die Optimierung des Entwicklungsprozesses angewendet werden.

LZ 3-2: Umgang mit den Wechselwirkungen zwischen Qualitätsattributen und Energieeffizienz

Die Teilnehmenden kennen die positiven und negativen Wechselwirkungen zwischen Qualitätsattributen im Bereich der Energieeffizienz mit anderen Qualitätsattributen. Auf Basis dieser Erkenntnisse können sie Qualitätsanforderungen erkennen, die miteinander in Konflikt stehen und Lösungsalternativen erarbeiten, um Konflikte zu abzuschwächen. Insbesondere werden die Qualitätsmerkmale Elastizität, Skalierbarkeit, Modularität und Resilienz detaillierter diskutiert, so dass die Teilnehmenden den Einfluss auf Energieeffizienz bewerten können.

3.3. Referenzen

[arc42], [ISO 25010]

4. Messen und Monitoring

Dauer: 75 Min.

Übungszeit: 60 Min.

4.1. Begriffe und Konzepte

Software Carbon Intensity (SCI), Business Metriken, Proxy-Metriken, Energieeffizienz, Kategorien von Messverfahren, Messwerkzeuge

4.2. Lernziele

LZ 4-1: Ressourcen in Relation zur erbrachten Leistung bringen

Die Teilnehmenden sind in der Lage, Ressourcen in Relation zur erbrachten Leistung zu bringen (Business Metrik). Sie kennen als Metrik den ISO-Standard Software Carbon Intensity (SCI) und verstehen, wie dieser als Business Metrik genutzt werden kann.

LZ 4-2: Messmethodiken kennen und anwenden

Die Teilnehmenden kennen das methodische Vorgehen beim Messen des Energieverbrauchs, bzw. der CO₂-Intensität. Sie verstehen, dass die Bewertung / Messung des absoluten Verbrauchs i. d. R. (gerade in der Cloud) nicht sehr exakt möglich ist, sondern wie man stattdessen Trends analysiert. Sie kennen Proxy-Metriken für die CO₂-Intensität.

Die Teilnehmenden wissen, wie sie sinnvolle Szenarien zum Messen der Energieeffizienz aufsetzen.

- Sie kennen Kriterien zum Gestalten der Szenarien (z. B. gängige Abläufe, Priorisierung nach Nutzungshäufigkeit).
- Sie wissen, an welchen Schnittstellen sie abhängig vom Ziel der Messung ansetzen (Ende-zu-Ende-Szenarien, an APIs ansetzen, etc.).
- Sie kennen Werkzeuge zum Erstellen solcher Szenarien.
- Sie können adäquat mit Messungenauigkeiten umgehen (z. B. Szenarien mehrfach ausführen, Abweichungen interpretieren).

Die Teilnehmenden verstehen, dass das Vorgehen der Energieeffizienzmessung verwandt ist mit dem Vorgehen bei Performanz-Messungen. Die Teilnehmenden verstehen, wie man systematisch vorgeht, um Verbrauchshotspots einzuziehen.

LZ 4-3: Messverfahren und Messwerkzeuge kennen und einsetzen

Die Teilnehmenden kennen verschiedene Kategorien von Messverfahren und deren Einsatzgebiete. Sie verstehen, wie man Werkzeuge der verschiedenen Kategorien für eine Analyse kombinieren kann. Kategorien sind beispielsweise:

- Hardware-Messwerkzeuge. Messen den Verbrauch mithilfe von externen Geräten oder On-Chip-Sensoren.
- Szenario-basierte Messwerkzeuge. Messung der Verbräuche spezifischer Nutzungsszenarien, i. d. R. in dedizierten Messumgebungen und fokussiert auf bestimmte Softwarekomponenten.
- Server-Monitoring. Erfassung der Verbräuche der gesamten Anwendung in Test- und Produktionssystemen.

- Programmiersprachenspezifische Messwerkzeuge. Liefern "Whitebox"-Messungen innerhalb einer Anwendung.
- Messwerkzeuge für Webanwendungen. Geben Auskunft u. a. über die Netzwerklast, die durch einen Seitenaufruf erzeugt wird.
- Carbon Footprint Tools der Cloudanbieter. In Cloudumgebungen kann der Energieverbrauch nicht direkt gemessen werden. Stattdessen ist man auf vom Anbieter bereitgestellte Tools oder andere Schätzmethoden angewiesen. Die Teilnehmenden kennen die Funktionalität und die Einschränkungen dieser Tools (Ungenauigkeit, relative Angaben, nötige Berechtigungen in der Cloud-Console) wie auch die Herausforderungen, Managed Services mit reinen VMs zu vergleichen.

4.3. Referenzen

[SCI], [Sustainable Web Design], [Tool Landscape], [Greenframe], [Green Metrics Tool], [Cloud Carbon Footprint]

5. Softwareentwicklung

Dauer: 75 Min.	Übungszeit: keine
----------------	-------------------

5.1. Begriffe und Konzepte

Programmiersprachen, Ahead-of-Time und Just-in-Time Compilierung, Bytecode, Maschinencode, Garbage-Collection, Datenstrukturen, Algorithmen, Rechnerische Komplexität, Caching, Datenhandling, Datenmodelle

5.2. Lernziele

LZ 5-1: Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in der Softwareentwicklung kennen

Die Teilnehmenden kennen Vorgehensweisen und Grenzen bei der Optimierung von Programmen. Sie können sinnvolle Ansatzpunkte von wenig lohnenden Zielen unterscheiden. Die Teilnehmenden kennen die Energieeffizienz verschiedener Programmiersprachen und können einschätzen, für welche Einsatzgebiete diese geeignet sind. Sie können Laufzeitverhalten und Entwicklungsgeschwindigkeit von Programmiersprachen bewerten und basierend auf den Anforderungen die richtige Wahl treffen. Darüber hinaus verstehen sie die Unterschiede zwischen Ahead-of-Time und Just-in-Time Kompilierung, von Byte- und Maschinencode sowie die Zielkonflikte von Garbage-Collectoren.

LZ 5-2: Effekte und Möglichkeiten von Optimierungen kennen

Die Teilnehmenden kennen das Prinzip der rechnerischen Komplexität und können Algorithmen bezüglich ihrer Laufzeit- und Energieeffizienz bewerten und auswählen. Sie können Caches in Verbindung mit Energieeffizienz einsetzen, kennen deren Funktionsweise (z. B. Cache-Ersetzung) sowie die Vor- und Nachteile. Sie kennen Möglichkeiten und Grenzen von Werkzeugen zum Aufdecken von Energy Code Smells.

LZ 5-3: Verfahren für energieeffizientes Datenhandling kennen und anwenden

Die Teilnehmenden kennen Verfahren, um mit großen Datenmengen umzugehen. Sie können Datenstrukturen und Operationen auf diesen Datenstrukturen bezüglich Energieeffizienz einschätzen und die richtige Auswahl bezogen auf die gegebenen Anforderungen vornehmen.

Die Teilnehmenden kennen Fallstricke beim Einsatz von Datenbanksystemen und können diese vermeiden. Sie sind in der Lage unterschiedliche Ansätze für die Abbildung von Beziehungen zwischen Entitäten auf Basis der fachlichen Anforderungen und der Qualitätsanforderungen zu bewerten und optimal auszuwählen.

5.3. Referenzen

[Pereira et al. 2021]

6. Softwarearchitektur

Dauer: 90 Min.

Übungszeit: 60 Min.

6.1. Begriffe und Konzepte

Architekturstile, Monolith, Microservices, Modulith, Ereignisgesteuerte Architektur, Serverless, Inter-Prozess-Kommunikation, Datenbanken, Green IT Pattern

6.2. Lernziele

LZ 6-1: Architekturstile und deren Bezug zu Energieeffizienz kennen und verstehen

Die Teilnehmenden können unterschiedliche Architekturstile wie beispielsweise verteilte Systeme, strukturierte Monolithen oder Serverless und deren Auswirkungen auf die Energieeffizienz einschätzen. Darüber hinaus sind sie in der Lage den Unterschied zwischen zustandslosen und zustandsbehafteten Komponenten hinsichtlich des Energiebedarfs einzuschätzen. Die Prinzipien von cloud-native Architekturen und ihre Auswirkungen auf die Energieeffizienz sind den Teilnehmenden bekannt.

LZ 6-2: Kommunikation und deren Auswirkungen auf Energieeffizienz kennen

Die Teilnehmenden kennen unterschiedliche Arten der Kommunikation (synchron versus asynchron) zwischen Bausteinen in Bezug auf die Bereitstellung von Daten sowie der verwendeten Formate und Protokolle (textbasierte versus binäre Protokolle) hinsichtlich der Energieeffizienz einschätzen. Sie sind in der Lage den Einfluss von Datenkompression auf das übertragenen Datenvolumen zu bewerten und wissen, dass die Energieeffizienz durch eine Reduzierung von Aufrufhäufigkeit und des Datenvolumens positiv beeinflusst wird.

LZ 6-3: Datenbankmodelle und deren Eigenschaften in Bezug auf Energieeffizienz kennen

Die Teilnehmenden kennen unterschiedliche Arten von Datenbankmodellen (relational, NoSQL, etc.) und unterschiedliche Datenbanksysteme (PostgreSQL, DB2, Oracle, etc.) und können die richtige Auswahl unter dem Aspekt der Energieeffizienz treffen. Sie sind in der Lage ein geeignetes Service-Modell (self-hosting versus cloud-based managed service) für Ihre Datenhaltung auszuwählen.

LZ 6-4: Spezifische Green IT Pattern kennen und anwenden

Die Teilnehmenden kennen generell Muster wie beispielsweise die der Green Software Foundation, um die Energieeffizienz einer Architektur zu verbessern. Sie kennen die Web Sustainability Guidelines des W3C zur Energieeffizienz, die beim Webdesign berücksichtigt werden müssen. Sie sind mit Strategien wie Browser-Caching, der Verwendung eines CDN und Edge-Caching vertraut und in der Lage, diese in ihren Anwendungen zu implementieren. Sie kennen unterschiedliche Dateiformate und Arten von graphischen Elementen (z. B. Animationen) und sind in der Lage deren Energieeffizienz einzuschätzen.

6.3. Referenzen

[GSF Patterns], [W3C]

7. Betrieb

Dauer: 75 Min.

Übungszeit: 30 Min.

7.1. Begriffe und Konzepte

Power Usage Effectiveness (PUE), Server Idle Energy Coefficient (SIEC), Renewable Energy Factor (REF), Carbon Usage Effectiveness (CUE), Water Usage Effectiveness (WUE), Service-Modelle, Deployment-Modelle, Cloud-Provider, GreenOps

7.2. Lernziele

LZ 7-1: Energieeffizienz von Rechenzentren und Hardware beziffern

Die Teilnehmenden können die Energieeffizienz eines Rechenzentrums einschätzen. Sie kennen die Power Usage Effectiveness (PUE) und deren Vor- und Nachteile.

Die Teilnehmenden kennen die Leistung-Last-Beziehung von Hardware. Sie können den Server Idle Energy Coefficient (SIEC) berechnen und einschätzen.

Die Teilnehmenden kennen darüber hinaus weitere Kennzahlen, darunter den Renewable Energy Factor (REF), die Carbon Usage Effectiveness (CUE) sowie die Water Usage Effectiveness (WUE). Sie können diese Kennzahlen berechnen, einschätzen und kennen Möglichkeiten zu deren Verbesserung.

LZ 7-2: Cloud Service & Deployment Modelle kennen und bezüglich Energieeffizienz beurteilen

Die Teilnehmenden kennen die Hauptkategorien von Cloud Computing Services (Cloud Service Modelle), insbesondere "Infrastructure as a Service", "Platform as a Service", "Software as a Service" und "Serverless". Sie können die Hauptcharakteristiken dieser Modelle benennen und abwägen wo und wie sie sich bzgl. Energieeffizienz und CO₂-Emissionseffizienz unterscheiden und wo sie ähnlich einzuordnen sind.

Die Teilnehmenden kennen die verschiedenen Deployment Modelle für Cloud Umgebungen wie vor Allem "Public Cloud", "Private Cloud", "Hybrid Cloud" und klassischer On-Premise-Betrieb. Sie können aufzeigen welche Chancen und Risiken diese Varianten auf Energieeffizienz und CO₂-Emissionseffizienz haben. Dabei sind insbesondere die Energieeffizienz der Rechenzentren, die Flexibilität bei der Auswahl der Hardware, Überprovisionierung und Datenverkehr zu berücksichtigen.

LZ 7-3: Cloud-Anbieter nach ökologisch-nachhaltigen Aspekten bewerten und auswählen

Die Teilnehmenden sind in der Lage ökologisch-nachhaltige Aspekte der verschiedenen Anbieter zu beurteilen, um diese in einer Auswahl berücksichtigen zu können. Dazu wissen sie, wie sie u. a. an folgende Informationen gelangen

- Informationen zum aktuellen Stand der Emissionen eines Anbieters (z. B. Sustainability Reports, Environmental Reports).
- Maßnahmen die Anbieter aktuell durchführen, um Emissionen zu reduzieren oder zu kompensieren.
- Roadmap und Klimaziele der Anbieter für die Zukunft.
- Greenwashing-Risiken der Anbieter einschätzen.

Außerdem kennen die Teilnehmenden die Möglichkeiten und Einschränkungen der Anbieter beim Monitoring der Emissionen aus der eigenen Ressourcennutzung wie sie durch die Carbon/Environmental Dashboards der Anbieter bereitgestellt werden.

LZ 7-4: Betriebliche Antipatterns kennen

Die Teilnehmenden kennen die Herausforderungen des energieeffizienten Betriebs und typische Anti-Pattern wie z. B. Überprovisionierung durch fehlendes Monitoring, fehlende Automatisierung in der Provisionierung oder ungünstige geografische Verteilung.

LZ 7-5: CO₂-Optimierung in der Cloud vornehmen

Die Teilnehmenden kennen die Begriffe "FinOps" und "GreenOps" und verstehen die Zusammenhänge. Sie wissen, wie und in welchem Rahmen sie bei einzelnen Cloud-Anbietern die CO₂-Emissionen beeinflussen können durch u. a.

- Auswahl von Zonen mit emissionsarmer Energieversorgung.
- Ressourcen sparsam dimensionieren und erst bei Bedarf skalieren.
- Bedarf zeitlich und örtlich bzgl. Emissionen und Ressourcenverfügbarkeit optimieren ("Time Shifting", "Location Shifting")
- Autoscaling.
- Nutzung effizienter Datenspeicherung (nach Zugriffsweg und -häufigkeit).
- Reduktion bzw. Verkürzung des Netzwerkverkehrs.
- Serverless Computing.
- Nutzung von Managed Services.

7.3. Referenzen

[Avelar et al. 2012], [Energy Efficiency Report], [Ackermann et al. 2022], [ISO/IEC 30134-9:2022], [ISO/IEC 30134-3:2016], [ISO/IEC 30134-8:2022]

8. Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit

Dauer: 60 Min.

Übungszeit: keine

8.1. Begriffe und Konzepte

Green AI, Sustainable AI, Model Training, Inference, Foundation Models, Transfer Learning, Fine-Tuning, Model Compression, Quantization, Pruning, Knowledge Distillation, Edge AI

8.2. Lernziele

LZ 8-1: Ökologische Auswirkungen von KI-Systemen kennen

Die Teilnehmenden verstehen die ökologischen Auswirkungen von KI-Systemen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Sie können die Phasen Datensammlung, Training, Deployment, Inferenz und Wartung unterscheiden und deren jeweiligen Energie- und Ressourcenbedarf erklären. Sie können die Begriffe Operational Carbon und Embodied Carbon auf KI-Systeme anwenden.

LZ 8-2: Energieeffiziente KI-Architekturen bewerten

Die Teilnehmenden kennen grundlegende Architekturansätze für energieeffiziente KI-Systeme, z. B.:

- Edge- vs. Cloud-Inferenz
- Zentrale vs. verteilte Modellarchitekturen
- Batch- vs. Echtzeitverarbeitung
- Wiederverwendung vor Neutrainung

Sie können diese Ansätze hinsichtlich Energieeffizienz, Kosten, Latenz und Genauigkeit vergleichen.

LZ 8-3: Optimierungstechniken für KI-Modelle kennen und einordnen

Die Teilnehmenden kennen gängige Techniken zur Reduktion des Ressourcenbedarfs von KI-Modellen, insbesondere:

- Transfer Learning und Fine-Tuning
- Quantization
- Pruning
- Knowledge Distillation
- Einsatz kleiner, spezialisierter Modelle statt großer Foundation Models

Sie können diese Techniken hinsichtlich Trainingsaufwand, Inferenzkosten, Modellgüte und Energieverbrauch bewerten.

LZ 8-4: Zielkonflikte zwischen Qualität und Energieeffizienz bei KI-Systemen erkennen

Die Teilnehmenden verstehen die Zielkonflikte zwischen klassischen Qualitätsattributen (z. B. Genauigkeit, Robustheit, Latenz, Skalierbarkeit) und Energieeffizienz bei KI-Systemen. Sie können diese Zielkonflikte explizit machen und in Architekturentscheidungen berücksichtigen. Die Teilnehmenden kennen die Konzepte Green AI und Sustainable AI. Sie verstehen, dass Effizienzgewinne zu einem Rebound-Effekt führen können und können Gegenmaßnahmen benennen.

8.3. Referenzen

[GSF Green AI], [Strubell et al. 2019], [Patterson et al. 2021]

9. Energieeffizienter Entwicklungsprozess

Dauer: 45 Min.

Übungszeit: keine

9.1. Begriffe und Konzepte

Continuous Deployment, Continuous Integration, Deployment Pipelines, Testautomatisierung

9.2. Lernziele

LZ 9-1: CI/CD-Strategien und deren Ressourcenbedarf kennen

Die Teilnehmenden kennen verschiedene Strategien des Infrastructure as Code, Continuous Integration und Continuous Deployments. Dazu gehört, warum und wann diese üblicherweise eingesetzt werden, welchen grundsätzlichen Ressourcenbedarf diese haben können und wie sich Testausführung sowie Codeanalysen auf diesen Bedarf auswirken können.

LZ 9-2: Optimierung der CI/CD Prozesse durchführen

Die Teilnehmenden sind mit Strategien zur Ressourcenoptimierung und der Verringerung der CO₂-Emissionen von CI/CD-Prozessen vertraut. Beispiele hierfür sind die Anwendung von Peak-Shaving, Time-Shifting und Location-Shifting.

Die Teilnehmenden wissen, wie man Energieeffizienzmessungen in die CI/CD-Pipeline integriert. Sie verstehen, wie (negative) Trends schnell erkannt werden können und wie Daten aus verschiedenen Quellen des Entwicklungsprozesses zusammengeführt werden können.

LZ 9-3: Optimierung der Infrastruktur vornehmen

Die Teilnehmenden kennen Verfahren zur Optimierung der Entwicklungs- und Deployment-Infrastruktur. Dazu zählen beispielsweise:

- Betrachtung der tatsächlich notwendigen Resilienz
- Effizienzvorteile von Containern gegenüber virtuellen Maschinen
- Optimierte Layering in Containern
- Reduktion der Image-Größe von Containern
- Einsatz von Caching für Build- und Testartefakte

LZ 9-4: Teststrategie optimieren

Die Teilnehmenden sind mit Möglichkeiten zur Verbesserung der Ressourceneffizienz ihrer Teststrategien und Testumgebungen vertraut. Dazu zählt beispielsweise die Wirkung verschiedener Testarten (Lasttest, Systemtest, Integrationstest, Unit-Test, ...) auf den Ressourcenverbrauch sowie die Verringerung dessen durch Test-Impact-Analysen und die bedarfsorientierte, zeitlich begrenzte Bereitstellung entsprechender Testumgebungen.

9.3. Referenzen

[Hammant 2017]

Referenzen

Dieser Abschnitt enthält Quellenangaben, die ganz oder teilweise im Curriculum referenziert werden.

A

- [Ackermann et al. 2022] Dr. Ludger Ackermann und Dr. Dirk Harryvan: Auszeit unter Aufsicht in iX Special 2022 - Green IT, <https://shop.heise.de/ix-13-2022/PDF>
- [arc42] arc42 Quality Model, <https://quality.arc42.org>
- [Avelar et al. 2012] Avelar et al.: PUE: A Comprehensive Examination of the Metric, https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/WP49-PUE%20A%20Comprehensive%20Examination%20of%20the%20Metric_v6.pdf

B

- [bitkom 2021] bitkom: Klimaeffekte der Digitalisierung, https://www.bitkom.org/sites/main/files/2021-10/20211010_bitkom_studie_klimaeffekte_der_digitalisierung.pdf
- [Brundtland 1987] Brundtland, G. (1987): Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

C

- [Cloud Carbon Footprint] Cloud Carbon Emissions Measurement and Analysis Tool, <https://www.cloudcarbonfootprint.org>

E

- [Energy Efficiency Report] Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market>

G

- [Greenframe] Measure and reduce website's CO2 emissions, <https://greenframe.io>
- [Green Metrics Tool] Messen des Energie- / CO2-Verbrauch von Software-Architekturen, <https://www.green-coding.io/de/projects/green-metrics-tool/>
- [Greenhouse Gas Protocol] Greenhouse Gas Protocol, <https://learn.greensoftware.foundation/measurement>
- [GSF Green AI] GSF - Green AI Position Paper, <https://greensoftware.foundation/articles/green-ai-position-paper>
- [GSF Patterns] GSF - Green Software Design Patterns, <https://patterns.greensoftware.foundation/>

H

- [Hammant 2017] Paul Hammant: The Rise of Test Impact Analysis, <https://martinfowler.com/articles/rise-test-impact-analysis.html>

- [ISO 14064-1] ISO 14064-1, <https://www.iso.org/standard/66453.html>
- [ISO 25010] ISO/IEC 25010, <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010>
- [ISO/IEC 30134-3:2016] ISO/IEC 30134-3:2016, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:30134:-3:ed-1:v1:en>
- [ISO/IEC 30134-8:2022] ISO/IEC 30134-8:2022, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:30134:-8:ed-1:v1:en>
- [ISO/IEC 30134-9:2022] ISO/IEC 30134-9:2022, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:30134:-9:ed-1:v1:en>

P

- [Pereira et al. 2021] Rui Pereira, Marco Couto, Francisco Ribeiro, Rui Rua, Jácome Cunha, João Paulo Fernandes, João Saraiva: Ranking Programming Languages by Energy Efficiency, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167642321000022>
- [Patterson et al. 2021] David Patterson, Joseph Gonzalez, Quoc Le, Chen Liang, Lluis-Miquel Munguia, Daniel Rothchild, David So, Maud Texier, Jeff Dean: Carbon Emissions and Large Neural Network Training, <https://arxiv.org/pdf/2104.10350>

S

- [SCI] Software Carbon Intensity, <https://sci-guide.greensoftware.foundation/>
- [Strubell et al. 2019] Emma Strubell, Ananya Ganesh, Andrew McCallum: Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP, <https://aclanthology.org/P19-1355>
- [Sustainable Web Design] Sustainable Web Design, <https://sustainablewebdesign.org/estimating-digital-emissions/>

T

- [Tool Landscape] Tool Landscape vom Bundesverband Green Software: <https://landscape.bundesverband-green-software.de/>

W

- [W3C] Web Sustainability Guidelines (WSG) 1.0, <https://w3c.github.io/sustyweb/>