

# Förderung der Nachhaltigkeit durch Modell-basiertes Testen

Stefan Mohacsi<sup>1</sup>, Armin Beer<sup>2</sup>, Tobias Lorey<sup>3</sup>, Michael Felderer<sup>4,5,3</sup>  
<sup>1</sup>Eviden (an Atos business), Wagramer Straße 19, 1220 Wien, Österreich,  
stefan.mohacsi@atos.net

<sup>2</sup>Beer Test Consulting, Helenenstr. 114, 2500 Baden, Österreich  
info@arminbeer.at

<sup>3</sup>Universität Innsbruck, Institut für Informatik, Technikerstr. 21a, 6020 Innsbruck, Österreich  
tobias.lorey@student.uibk.ac.at

<sup>4</sup>Institut für Softwaretechnologie, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
Linder Höhe, 51147 Köln, Deutschland  
michael.felderer@dlr.de

<sup>5</sup>Universität zu Köln, Department Mathematik/Informatik, Albertus Magnus-Platz, 50923 Köln, Deutschland

## Einleitung

In diesem Beitrag untersuchen wir die Frage, was Nachhaltigkeit in Bezug auf den SW-Test bedeutet und wie speziell Modell-basiertes Testen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit beitragen kann.

Was ist **Nachhaltigkeit** (*Sustainability*)? Der Begriff *Sustainability* kommt aus dem Lateinischen – „*Sustinere*“ bedeutet „schützen, bewahren, erhalten“. *Sustainability* wurde von der Brundtland Commission wie folgt definiert: „[...] *meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*“ [1].

Aber was hat das mit SW-Entwicklung und Test zu tun? Ein einfaches Beispiel ist der Schutz der Umwelt durch die Berücksichtigung von Energieeffizienz beim Design der SW und der Testplanung. Ein solches ***Sustainability Engineering*** erfordert eine Paradigmen-Verschiebung bei einer Reihe von Faktoren wie Projektorganisation, Teamstruktur und Priorisierung der Qualitätsmerkmale.

Auch umfasst Nachhaltigkeit nicht nur Umweltaspekte, wie man an einem Beispiel aus der Weltraumtechnik erkennen kann: Das *James Webb Space Telescope (JWST)* ist eines der modernsten wissenschaftlichen Geräte. Die Forscher benötigten eine verlässliche Software, damit sie das ungefähr 1,5 Millionen km von der Erde entfernte Teleskop steuern können. Der Bau des Teleskops begann 1996 und bereits im Jahr 2000 wurde die Software ausgewählt, obwohl das fertige Teleskop erst 2021 ins All geschossen wurde und 2022 die vorgesehene Umlaufbahn erreichte.

Nur durch die frühzeitige Berücksichtigung von Nachhaltigkeits-Aspekten wie der Wartbarkeit war es möglich, dass die beim *JWST* im Betrieb aufgetretenen technischen Schwierigkeiten gemeistert werden konnten:

1. Schwerer Software-Fehler aufgrund einer inzwischen veralteten Java Script-Version

2. Im Mai 2022 wurde ein Spiegel der Gerätschaft von einem Mikrometeoriten getroffen, der zum Aussetzen der Kamera führte.

3. Im Dezember 2022 gab es mehrere Probleme mit der Ausrichtung der Kamera.

Die Forscher waren jedoch in der Lage, diese Fehler vom Boden aus zu beheben und zu testen. Ein Scheitern der Mission hätte eine ungeheure Verschwendung von Energie, Ressourcen und finanziellen Mitteln in der Höhe von einigen Milliarden Euro zur Folge gehabt.

## Dimensionen der Nachhaltigkeit

Welche Aspekte der Nachhaltigkeit sind im Zusammenhang mit dem Software-Test von Bedeutung? Laut Condori-Fernandez und Lago [2] sind beim Test die Dimensionen *Environmental*, *Social*, *Economic*, *Technical* und *Individual Sustainability* zu beachten. Wir wollen nun die Bedeutung dieser Dimensionen erörtern und die Frage beantworten, durch welche konkreten Maßnahmen sie im Testprozess berücksichtigt werden können.

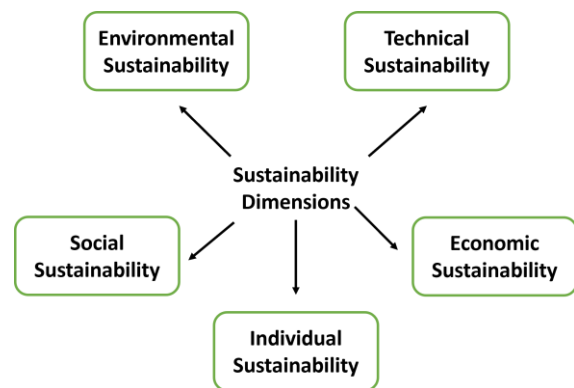


Abbildung 1: Die fünf Dimensionen der Nachhaltigkeit

**Environmental Sustainability** ist eines der wichtigsten Ziele von Nachhaltigkeit. Der Schutz der Umwelt spielt auch im Testprozess eine Rolle, wo Hardware-Ressourcen genutzt werden, die Energie verbrauchen. Die Grundlage sind die im „Green Soft Model“ [3] definierten Aspekte und die Auswirkungen auf die Ökologie. Um den Energieverbrauch und den Einfluss auf die Umwelt zu reduzieren, sollte bei der Release und Iterationsplanung beachtet werden, dass Testsysteme nur bei Bedarf mit voller Kapazität zur Verfügung stehen. Bei der Planung, dem Design und der Durchführung von Tests ist die Energie-Effizienz zu berücksichtigen. Auch kann bei der Auswahl der Hardware auf möglichst ressourcenschonende und recyclebare Modelle geachtet werden. Reduktion und Vermeidung von Abfall sowie Wiederverwendung sind auch beim Software-Test relevante Themen.

In Bezug auf die **Technical Sustainability** sollte neben dem Test der Qualitätsmerkmale nach ISO/IEC 25010 insbesondere die Wartbarkeit (*Maintainability*) und die einfache Nutzbarkeit bei zukünftigen Updates (*Usability*) in technische Entscheidungen einfließen. Ein Mangel an Testbarkeit führt zum Anwachsen von Komplexität von Version zu Version und verringert die Verständlichkeit und Qualität der Testfälle. Ein fehlender Wissensaustausch, z.B. zwischen Entwicklern und Testern, und fehlendes Technologie-Management führen zu Fehlentscheidungen bei langfristigen Planungen.

**Individual Sustainability:** Aus der Sicht eines Projekt-Mitarbeiters haben Work-Life Balance, Karriere-Möglichkeiten und Zufriedenheit mit der Arbeit im Unternehmen eine größere Bedeutung als früher. Bei der Rekrutierung von neuen Mitarbeitern ist es wichtig, ihnen die Durchführung von Innovationen und langfristigen interessanten Tätigkeiten zu ermöglichen. Wird auch eine ausgewogene Work-Life Balance und die Gesundheit des Mitarbeiters beachtet, kann man ihn längerfristig an ein Unternehmen binden. [4], [5]

**Social Sustainability:** Soziale Nachhaltigkeit bezieht sich auf das Miteinander aller Beteiligten in der gesamten Organisation und im Testteam. Sie umfasst die Rekrutierung geeigneter Mitarbeiter, die Reife des Testprozesses, Flex-Work und den Zusammenhalt des Teams. Es geht dabei auch um das Verständnis der Bedeutung von Nachhaltigkeit und Innovation bei der Realisierung. Die Methode Design Thinking ist z.B. geeignet, um Innovationsarbeit zu fördern. Dies kann durch ein möglichst interdisziplinäres Team, bestehend aus Fachspezialisten, Analytikern, Entwicklern und Testern, gefördert werden. Um ein Testteam weiter zu stärken, können auch zusätzliche Maßnahmen, wie beispielsweise Teamevents oder Communities zum Wissensaustausch, umgesetzt werden [5]. Um ein gutes soziales Gefüge zu fördern, können bereits am Beginn des Projekts alle Team-Mitglieder bei der Planung einbezogen werden.

**Economic Sustainability:** Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit sollte bereits im Vorfeld eines Testvorhabens geprüft werden. Dies kann vor allem durch eine Betrachtung der voraussichtlichen Kosten und des erwarteten Nutzens, z.B. bei der Umsetzung automatisierter Tests, erfolgen. Am Beispiel des JWST wird klar, dass die Vernachlässigung von Nachhaltigkeits-Aspekten ein Scheitern der Mission verbunden mit enormen Kosten bedeutet hätte.

## Nachhaltigkeits-Anforderungen im Test-Prozess

Abb. 2 zeigt, wie Nachhaltigkeits-Aspekte im Test-Prozess berücksichtigt werden können: Aus den fünf Dimensionen der Nachhaltigkeit auf der linken Seite ergeben sich Eigenschaften, die durch Metriken gemessen werden können. Die projektspezifischen Anforderungen an die einzelnen Eigenschaften werden definiert und die negativen Auswirkungen im Falle einer Nichterfüllung erfasst. Daraus ergeben sich die Testziele und ihre Gewichtung, welche entscheidend für die Umsetzung des Testprozesses nach ISTQB (auf der rechten Seite) sind.

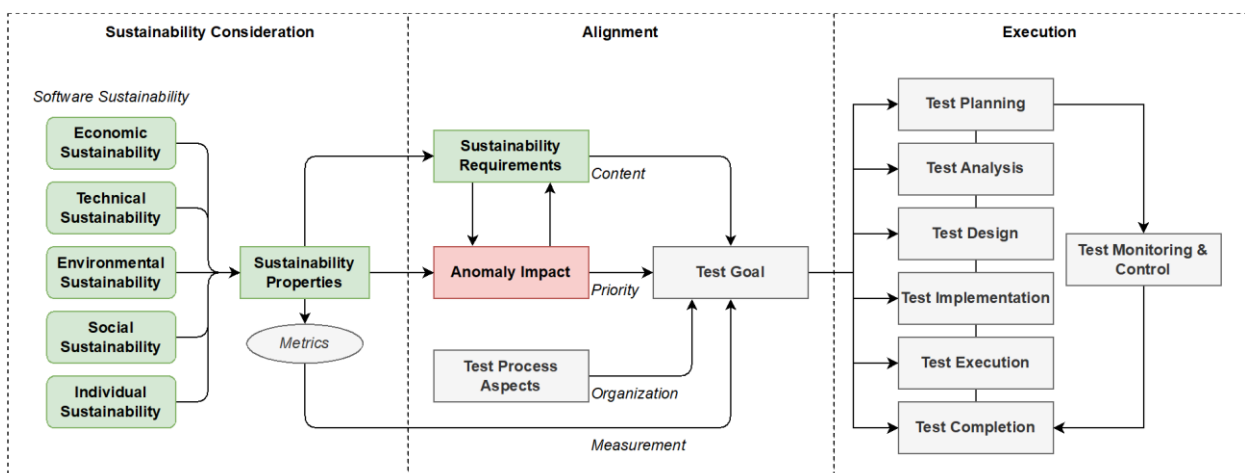


Abbildung 2: Nachhaltigkeits-Anforderungen im Testprozess

## Nachhaltigkeit und Modell-basierter Test

Beim Modell-basierten Test (MBT) werden Testfälle automatisch aus einem Modell des getesteten Systems generiert. Im einfachsten Fall sind das textuelle Beschreibungen der einzelnen Testschritte, bei fortgeschritteneren Ansätzen fertige Testskripte, die von Testautomatisierungs-Werkzeugen ausgeführt werden können.

Welche Beziehungen gibt es zwischen MBT und Nachhaltigkeit? Einerseits können Nachhaltigkeits-Anforderungen bei der Modellierung berücksichtigt und somit später auch getestet werden. Die Basis können z.B. gesetzliche, wirtschaftliche, ökologische, oder auch Marketing-Vorgaben sein.

Umgekehrt hat aber die Anwendung von MBT auch großes Potential für die Verbesserung sämtlicher Dimensionen der Nachhaltigkeit:

Ein Hauptgrund dafür ist die Verbesserung der Wartbarkeit, die einen direkten Einfluss auf die *Technical Sustainability* hat: nach einer Änderung am System muss nicht jeder einzelne Testfall geprüft und ggf. angepasst werden, sondern es genügt, das Modell an wenigen Stellen zu aktualisieren. Voraussetzung ist, dass bei der Erstellung des Modells auf leichte Wartbarkeit und den Einsatz wiederverwendbarer Bausteine Wert gelegt wurde (siehe Abb. 3).

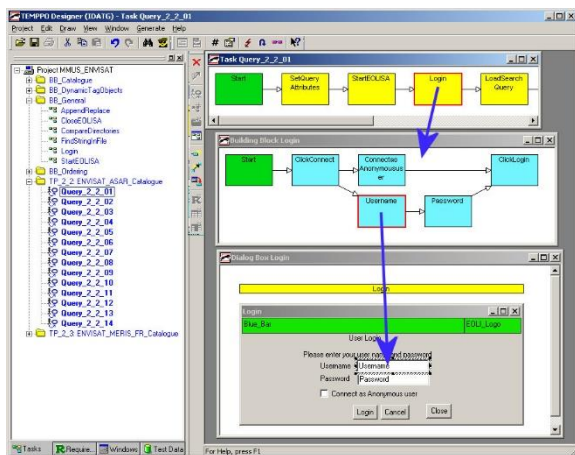


Abbildung 3: Testmodell im Werkzeug TEMPO Designer

Die Testfälle werden daraufhin automatisch neu generiert, was viel Zeit und Ressourcen spart und somit die *Economic Sustainability* fördert [6]. Die eingesparten Ressourcen beinhalten neben der menschlichen Arbeitsleistung auch die durch Hardware verbrauchte Energie, wovon die *Environmental Sustainability* profitiert.

Diese positiven Effekte werden noch verstärkt, wenn man MBT mit automatischer Testdurchführung kombiniert und anstatt textueller Testanweisungen ablauffähige Testskripts generiert.

Ein weiterer Vorteil von MBT ist die übersichtlichere Spezifikation der Tests auf mehreren Abstraktionsebenen, was interdisziplinären Teams ein effizienteres Zusammenarbeiten und neuen Mitgliedern ein rascheres Verständnis ermöglicht. Dadurch werden die *Individual Sustainability* und *Social Sustainability* positiv beeinflusst.

Im Hinblick auf die *Economic Sustainability* sollte vor Projektbeginn aber eine Kosten-Nutzen-Analyse gemacht werden, um zu überprüfen, ob und wann sich der zusätzliche Aufwand für MBT amortisieren wird. Vor allem zu Beginn erfordert MBT einigen Zusatzaufwand für die Erstellung eines ausreichend detaillierten Modells.

Eine Studie bei der European Space Agency ESA hat ergeben, dass für eine solche Analyse die Anzahl der Testwiederholungen über die Lebensdauer eines Systems von entscheidender Bedeutung ist (Abb.4) [7]. Wenn der Test nur wenige Male wiederholt werden soll, wird sich der hohe Aufwand für die Modellierung nicht rentieren, aber bei häufigen Regressionstests (z.B. bei agilem Vorgehen) ist das Einsparungspotential gewaltig. Aber auch andere Faktoren wie die Qualität der vorhandenen Spezifikation oder das Verhältnis zwischen wiederverwendbaren Bausteinen und spezifischen Testschritten spielen eine Rolle.

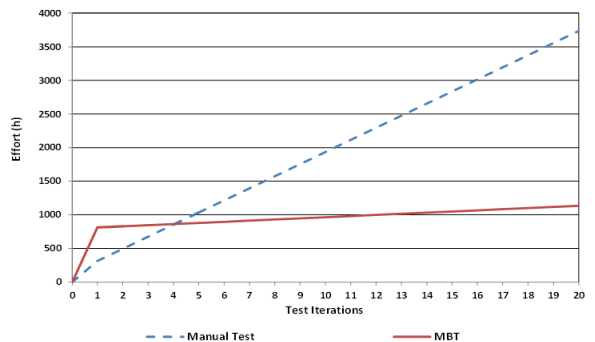


Abbildung 4: Kostenvergleich zwischen manuellem Test und MBT mit automat. Testskriptgenerierung [7]

Beim Nutzen sollte nicht nur das finanzielle Einsparungspotential, sondern auch andere Vorteile wie die Verbesserung der Qualität, der Zufriedenheit von Mitarbeitern und Kunden usw. berücksichtigt werden. Aus den Ergebnissen der Analyse lässt sich ableiten, wie effizient und somit nachhaltig der Einsatz von MBT im aktuellen Projekt sein würde.

## Fazit

Damit in Zukunft Nachhaltigkeitsaspekte auch im Bereich des SW-Tests verstärkt beachtet werden, ist ein Perspektivenwechsel notwendig. Es sollten bereits vor Beginn einer Testphase Indikatoren für Nachhaltigkeit aufgestellt werden, die dann regelmäßig gemessen werden. Dabei sollten alle 5 Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden.

Modell-basiertes Testen ist eine konkrete Maßnahme, die zur Verbesserung der Nachhaltigkeit beitragen kann. Hauptgründe sind die leichtere Wartbarkeit, die effizientere Nutzung von Ressourcen und die auf individuelle Bedürfnisse adaptierbare Darstellung der Testspezifikation.

Aus diesen Gründen wird MBT seit vielen Jahren u.a. von der Raumfahrtsbehörde ESA/ESOC erfolgreich eingesetzt.

## Referenzen

- [1] Brundtland G. et al., „Our Common Future (Brundtland Report)“ United Nations World Commission on Environment and Development, 1987
- [2] Condori-Fernandez N., Lago P., “Characterizing the contribution of quality requirements to software sustainability”, Journal of Systems and Software, Vol. 137, pp.289-305,2018
- [3] Naumann S., et al.: “The GREENSOFT model: A reference model for green and sustainable software and its engineering. Sustainable Computing Informatics and System, 2011
- [4] Beer A., Felderer M., Lorey T., Mohacsi S., „Aspects of sustainable test processes” 2021 IEEE/ACM International Workshop on Body of Knowledge for Software Sustainability (BoKSS).
- [5] Lorey T., Mohacsi S., Beer A., Felderer M., “STORM: A Software Testing Onboarding Model”, SEAA 2022
- [6] Graham D. et al.: “Experiences of Test Automation”, chapter 9 (“Model-Based Test Case Generation in ESA Projects”), Addison-Wesley 2012
- [7] Mohacsi S., Felderer M., Beer A.: “Estimating the Cost and Benefit of Model-Based Testing: A Decision Support Procedure for the Application of Model-Based Testing in Industry”, SEAA 2015