

# Wie reparaturfreundlich ist mein Produkt?

Eine systematische Methode zur Qualifizierung der Reparaturfreundlichkeit technischer Produkte

Franz Streibl, Stuttgart, Germany

**Abstract**—Dieser Artikel beschreibt eine allgemeine Analyse von gängigen Reparaturabläufen und -szenarios auf deren Basis objektive Parameter zur Qualifizierung der Reparaturfreundlichkeit von Produkten aufgezeigt werden.

## I. EINLEITUNG

Innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte hat die Auslagerung der Produktion einer breiten Palette von Produkten zum Verschwinden von Fachkräften geführt, die notwendigerweise zur Reparatur der von ihnen hergestellten Produkten befähigt waren. Der wirtschaftliche Anreiz für diese Auslagerung der Produktionskapazität geht auf eine Lohnkostenarbitrage hinsichtlich der Produktionsarbeitskräfte zurück. Der niedrigere Lebensstandard und Professionalisierungsgrad an den ausgelagerten Standorten führte anfänglich zu einer geringeren Qualität der Produkte. Dies wiederum ging ungefähr mit der Einführung von minimalen Produktqualitätsanforderungen und -gewährleistungen im Binnenmarkt einher. In der Folge wurden Reparaturen unwirtschaftlich, da die Kosten für ein Ersatzprodukt aus der ausgelagerten Produktion geringer ausfielen als die Reparaturkosten. Der Hauptgrund hierfür ist die Tatsache, dass die lokalen Reparaturprozesse keinen Zugang zu einem wirtschaftlichen Äquivalent der kostenreduzierten, weil ausgelagerten Produktionsprozessen mit der genannten Lohnkostenarbitrage haben. Dies führt jüngst zu ehrenamtlichen und gut besuchten Reparaturinitiativen, welche sich ausserhalb des gängigen Wirtschaftparadigmas bewegen und deshalb nicht von der ausgelagerten Produktion und ihrer Lohnkostenarbitrage betroffen sind. Jedoch führen diese Initiativen zu einer wesentlichen Steigerung der Heterogenität der reparierenden Personenkreise. Während vormals Reparaturen hauptsächlich eine Domäne von professionell ausgebildeten Fachkräften und Technikern war, repariert inzwischen wortwörtlich jeder. Diese Veröffentlichung begründet die Position, dass diese erhebliche Steigerung der Heterogenität als empirischer Fakt bei der Betrachtung der Reparaturfreundlichkeit von Produkten unbedingt berücksichtigt werden muss. Wo vormals die Frage der Reparierbarkeit lautete "was ist defekt?", muss heute eine zweite Frage zur Beantwortung gestellt werden und diese lautet "wer repariert?".

## II. REPARIERBARKEIT UND REPARATURFÄHIGKEIT

Die deutschen Begriffe 'Reparierbarkeit' und 'Reparaturfähigkeit' mit ihren abgeleiteten Adjektiven befinden sich momentan in synonyme Verwendung, woran dieser Artikel eine Verbesserung beabsichtigt. Die 'Reparaturfähigkeit' ist offensichtlich eine Fähigkeit

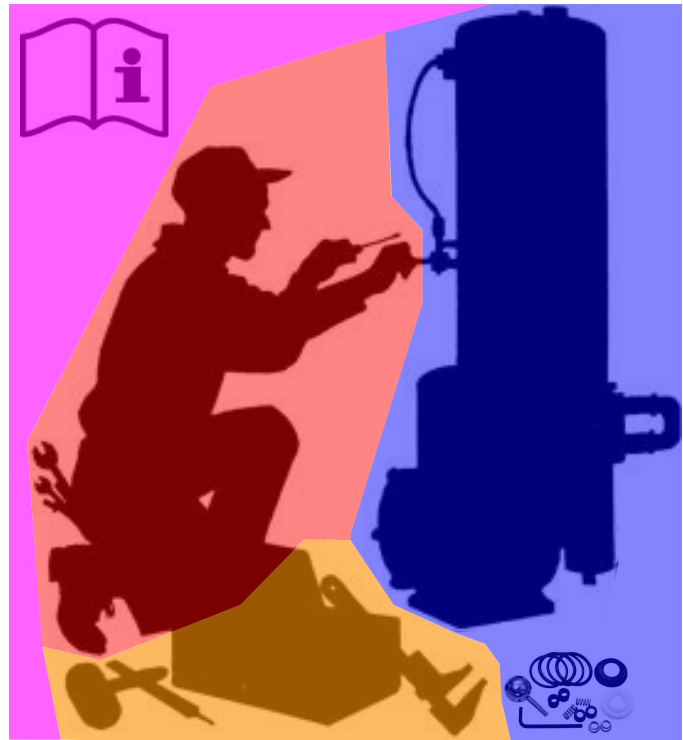


Fig. 1. Vier Aspekte der Reparaturfreundlichkeit und ihre entsprechenden Anwendungsbereiche. Die Hauptaspekte Reparaturfähigkeit (links, subjektiv) und Reparierbarkeit (rechts, objektiv), und ihre vier Unterasspekte: angeeignete Reparaturfähigkeit (ASR) in rot, ergänzte Reparaturfähigkeit (ESR) in violett, ausstattungs-mäßige Reparierbarkeit (AOR) in orange, und substitutive Reparierbarkeit (SOR) in blau. Erklärung siehe Text.

und Fähigkeiten sind aktiv ("aktive Fähigkeit" oder "Vermögen", s. Bloch oder Aristoteles) und damit notwendigerweise subjektive Eigenschaften einer Person: die Fähigkeit zur Reparatur. Davon unterscheidet sich die 'Reparierbarkeit' als passive Möglichkeit oder Potentialität des unbelebten Objekts als Gegenstand von Reparieren. Es kann also bereits durch bestehende Begriffe aus dem Wortschatz der Sprache subjektive Reparaturfähigkeit von objektiver Reparierbarkeit unterschieden werden und diese Unterscheidung ist logisch und sinnvoll. Eine allgemeine Definition des Reparierens könnte so lauten: Eine informierte, nicht-zufällige Handlung, die die Funktion von einer Sache wiederherstellt, wobei diese Funktion bereits zu einem früheren Zeitpunkt bestanden hat jedoch bis zur Vollendung der Reparatur verhindert ist. Historisch

waren komplizierte Reparaturen immer Fachpersonen wie Handwerkern oder, in jüngerer Vergangenheit, Technikern und Ingenieuren vorbehalten. Zudem wurden historische Produkte von den selben Personen repariert, von denen sie auch hergestellt wurden. Dies impliziert ein hohes Maß an Vertrautheit und ein entsprechendes Verständnis der inneren Funktionsmechanismen eines Produkts. Natürlich können einfache Reparaturen von jedermann ausgeführt werden, wie beispielsweise die Reinigung eines Filters in einer Haushaltsanwendung. Im Beispiel wird der Filter kurzzeitig aus dem Haushaltsgerät entfernt und danach wieder eingesetzt. Wie weiter unten näher beschrieben und wie es sich bei genauerer Betrachtung zeigen wird, hat diese Fähigkeit hauptsächlich zwei Bedingungen. Erstens muss das defekte Produkt die Reparatur von seiner Konstruktion her erlauben. Und zweitens benötigt die reparierende Person zumindest ein grobes Verständnis der inneren Funktionsmechanismen des Produkts, um einen Reparaturversuch mit Zuversicht unternehmen zu können.

Handwerker hatten traditionell Reparaturfähigkeit, da sie die übergeordneten Produktionsfähigkeiten hatten. Dieses Wissen oder diese Fähigkeiten erlauben sogar sehr komplizierte Reparaturen zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Einfache Reparaturen werden in der Regel durch wenige Worte der Ermutigung und eine kurze Vorgehensbeschreibung subjektiv ermöglicht. Inwieweit einfache Reparaturen von der bestimmungsgemäßen Funktion und Handhabung eines Produkts unterschieden werden können oder sollten ist ein interessanter Analysegegenstand, wird jedoch in diesem Text nicht weiter erörtert. Jedoch bedürfen beide Arten der Reparatur, die komplizierte durch den Profi wie auch die einfache Reparatur durch jedermann gegebenenfalls spezifischer Werkzeuge und/oder Ersatzteile. Und es ist gleichermaßen offensichtlich, dass der Grad der subjektiven Fähigkeiten oder des technischen Verständnisses zu einem spezifischen Produkt eine notwendige Vorbedingung jedweden erfolgreichen Reparaturversuchs darstellt, was hauptsächlich von der inneren Aufbaukomplexität des infragestehenden Produkts abhängt. Diese zwei Beobachtungen können als getrennte und unabhängige Aspekte von Reparierbarkeit voneinander unterschieden werden, obwohl beide gleichwertige und notwendige Bedingungen für eine erfolgreiche Reparatur darstellen. Beide Bedingungen müssen jeweils erfüllt sein, um eine Reparatur objektiv zu ermöglichen und jemanden subjektiv dazu zu befähigen. Weil letztere Bedingung hauptsächlich von der Person und ihrer Befähigung zur Reparatur abhängt, macht es Sinn diesen Aspekt die subjektive Reparaturfähigkeit zu nennen, immer bezogen auf ein spezifisches Produkt. Und weil erstere auf materiellen Gegebenheiten, wie der Verfügbarkeit der notwendigen Werkzeuge und/oder Ersatzteile basiert, macht es Sinn bei diesem Aspekt von der objektiven Reparierbarkeit (wieder, eines spezifischen Produkts) zu sprechen. Eine Grenzwertbetrachtung zur Bewertung der praktischen Relevanz dieser Unterscheidung macht an dieser Stelle Sinn. In einem ersten Beispiel soll das Uhrwerk einer mechanischen Armbanduhr betrachtet werden. Das subjektive Verständnis

der Funktionen und Mechanismen in einem solchen Uhrwerk ist nicht allgegenwärtig, wohingegen der Gebrauch solcher Uhren allgemein offensichtlich ist. Selbst bei Verfügbarkeit von spezifischen Reparaturanleitungen zur Fehlerbehebung in einem Miniaturuhrwerk werden die meisten Menschen ihre Fähigkeit zur praktischen Umsetzung solcher Anleitungen bezweifeln. Dies weist bereits darauf hin, dass subjektive Reparaturfähigkeit spezifische Fertigkeiten voraussetzen kann. Bei näherer Betrachtung der inneren Aufbaukomplexität eines solchen Uhrwerks kommt man zum selben Schluss. Auf der objektiven Seite werden zudem spezielle Werkzeuge benötigt, um alleine das Gehäuse eines Miniaturuhrwerks beschädigungsfrei zu öffnen. Das gleiche kann hinsichtlich etwaig notwendiger Ersatzteile festgehalten werden, wenn beispielsweise eine gebrochene Feder als Fehlerursache angenommen wird. Dieses Beispiel lässt sich wie folgt zusammenfassen: Die Reparierbarkeit einer Armbanduhr ist dann gegeben, wenn ein Spezialist den Austausch (subjektive Reparaturfähigkeit) der gebrochenen Feder durch ein verfügbares Ersatzteil mit den dafür geeigneten Werkzeugen in einer dafür ausgestatteten Werkstatt (objektive Reparierbarkeit) vornimmt.

In einem zweiten Beispiel soll das Aufpumpen eines platten Fahrradreifens betrachtet werden. Das subjektive Verständnis der Mechanismen von Druck im Reifen und den Auswirkungen von dessen Fehlen sind empirisch jedem zugänglich, der Fahrrad fährt. Zudem ist die innere Aufbaukomplexität eines Reifens als Teil eines Rades und der darin enthaltenen, komprimierten Luft leicht zu verstehen und allgemein bekannt. Die allgemein verbreitete Verfügbarkeit von Druckluft, Reifen und, sofern notwendig, Ersatzventilen weist bereits auf eine einfache objektive Reparierbarkeit hin. Die Reparierbarkeit eines platten Reifens ist deshalb gegeben, weil das Aufpumpen keine besonderen Fertigkeiten oder Anweisungen erfordert (subjektive Reparaturfähigkeit), die hauptsächlich notwendigen Ersatzteilchen' die Atmosphäre füllen und Werkzeuge wie Pumpe oder Kompressor leicht zugänglich sind (objektive Reparierbarkeit).

### III. VIER ASPEKTE DER REPARATURFREUNDLICHKEIT

Objektive und subjektive Reparierbarkeit sind zu abstrakt, um als Maß für Reparaturfreundlichkeit praktisch anwendbar zu sein. Konkret erfordern die oben genannten Beispiele bei genauerer Betrachtung eine weitere Unterteilung der bereits ausgeführten Aspekte von Reparierbarkeit. Im Fall des genannten Uhrwerks ist die Verfügbarkeit der Ersatzfeder unabdingbare Voraussetzung für ein positives Ergebnis aus Sicht der objektiven Reparierbarkeit. Insbesondere kann genau diese Reparatur nicht unterwegs und bei jedem Wetter durchgeführt werden, sondern ist auf die Umgebung einer Feinmechanikwerkstatt mit ihren Spezialwerkzeugen wie Lupen und einer Variation von Pinzetten angewiesen. Im Fall des Fahrradreifens ist es jedoch sehr wohl möglich, diesen unterwegs und im Freien aufzupumpen, da Luftmoleküle zahlreich und Luftpumpen leicht und allgemein sind. Die Abhängigkeit der objektiven Reparierbarkeit von besonderen

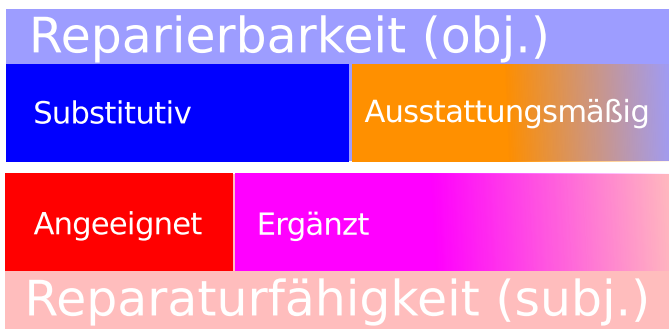


Fig. 2. Reparierbarkeit (oben) und Reparaturfähigkeit (unten) und ihre je zwei Unteraspekte bauen aufeinander auf. Angeeignete Reparaturfähigkeit (ASR, z.B. 'Fertigkeit') in rot und ergänzte Reparaturfähigkeit (ESR, z.B. 'Reparaturanleitung') in violett bilden gemeinsam die subjektive Reparaturfähigkeit. Ausstattungsmäßige Reparierbarkeit (EOR, e.g. 'Werkzeuge') in orange und substitutive Reparierbarkeit (SOR, z.B. 'Ersatzteile') in blau bilden gemeinsam die objektive Reparierbarkeit.

Werkzeugen oder Ausstattung kann als ausstattungsmäßige Reparierbarkeit, während die Abhängigkeit der objektiven Reparierbarkeit von der Austauschbarkeit von Teilen und die Ersatzteile selbst als substitutive Reparierbarkeit bezeichnet werden. Eine analoge Unterteilung macht für die subjektive Reparaturfähigkeit Sinn, indem eine ausgebildete Fertigkeit oder anderweitig angeeignete Erfahrung in der Handhabung entsprechender Produkte sich von dem Inhalt von Reparaturhinweisen oder -handbüchern wesentlich unterscheidet. Letzterer kann in seinem Umfang nicht das Grundlagenwissen eines technischen Fachgebiets wiedergeben, wie beispielsweise die Grundlagen der mechanischer Konstruktionstechnik und darauf aufbauende Berufserfahrungen. Deshalb muss subjektive Reparaturfähigkeit zweifach unterteilt werden in angeeignete Reparaturfähigkeit auf der einen Seite und in zusätzliche oder, genauer, ergänzte Reparaturfähigkeit auf der anderen Seite. Ergänzten Reparaturfähigkeit in der Form von Reparaturhinweisen kann der angeeigneten Reparaturfähigkeit helfen (hinreichend), indem dadurch der Reparaturprozess erleichtert oder beschleunigt wird. Reparaturhinweise sind aber keine notwendige Bedingung im Falle von vorhandener angeeigneter Reparaturfähigkeit. Ergänzten Reparaturfähigkeit ist offensichtlich notwendige Vorbedingung jeder Reparaturfreundlichkeit, sofern sie die einzig verfügbare Art der Reparaturfähigkeit ist, also in Fällen wo keine angeeignete Reparaturfähigkeit vorliegt.

Wie oben implizit ausgeführt ist die Möglichkeit der Reparatur nicht ausschließlich eine objektive Eigenschaft eines technischen Produkts. Obwohl die objektive Reparierbarkeit (substitutiv und ausstattungsmaßig) jedem technischen Produkt zugeordnet werden kann, ist die Reparaturmöglichkeit keine rein objektive Produkteigenschaft. Die die Reparatur durchführende Person trägt zur Ermöglichung der Reparatur durch ihre Reparaturfähigkeit in Form ihres technischen Verständnisses, ihrer praktischen Erfahrung oder das Befolgen einer Reparaturanleitung wesentlich bei. Falls kein technisches Verständnis und auch keine Reparaturanleitung vorliegen, dann bleiben die besten Werkzeuge und Ersatzteile nutzlos und eine

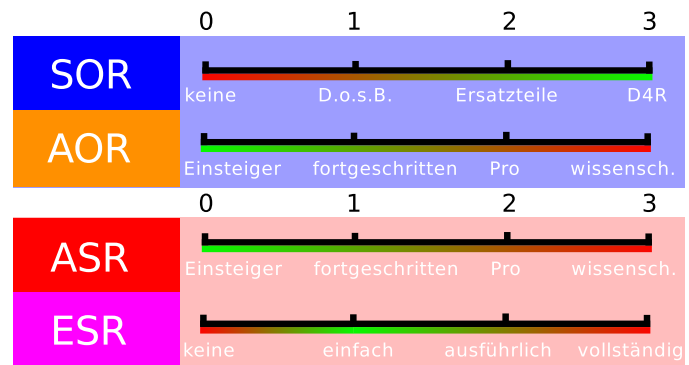


Fig. 3. Bewertung der Reparaturfreundlichkeit der vier Aspekte jeweils auf einer Skala von null (0) bis drei (3). Substitutive Reparierbarkeit (SOR) ist von 'nicht reparierbar' (0) über 'Demontage ohne strukturelle Beschädigung' (1) und 'Verfügbarkeit von Ersatzteilen' (2) bis 'Reparaturfreundlich entwickelt'/'Designed for Repairability' (3) aufgetragen. Eine Erklärung dieser Abbildung und der gezeigten Stufen findet sich in Abschnitt III, auch für AOR, ASR und ESR. Grün zeigt optimale Reparaturfreundlichkeit, gelb zeigt bedingte Reparaturfreundlichkeit und rot zeigt erschwerte Reparaturfreundlichkeit an. (ASR: z.B. 'Fertigkeit', ESR: z.B. 'Reparaturanleitung', AOR: z.B. 'Werkzeuge', SOR: z.B. 'Ersatzteile'; eine detaillierte Beschreibung findet sich in Abschnitt III)

Reparatur ist nicht möglich. Deshalb sind Reparaturfähigkeit (subjektiv) und Reparierbarkeit (objektiv) notwendige Voraussetzungen jeder faktischen Reparaturmöglichkeit. Werkzeuge können mit ausstattungsmäßiger objektiver Reparierbarkeit und Ersatzteile mit substitutiver objektiver Reparierbarkeit, AOR und SOR, bezeichnet werden. Fachliche Kenntnisse können mit angeeigneter, subjektiver Reparaturfähigkeit und das Befolgen von Reparaturanweisungen kann mit ergänzter, subjektiver Reparaturfähigkeit, ASR und ESR, bezeichnet werden. AOR und SOR sind in gleichem Maße notwendige, objektive Voraussetzung für eine erfolgreiche Reparatur. Da es sich bei ASR um langfristig angeeignetes Wissen handelt ist dieses von der bloßen kurzfristigen Reparaturinformation des ESR zu unterscheiden. Nur einer dieser beiden subjektiven Aspekte kann für eine Reparatur bereits ausreichen. Jedoch kann eine besondere AOR eine entsprechende ASR notwendig machen. Zum Beispiel bei Kenntnissen (ASR) zur Bedienung eines Spezialwerkzeugs (AOR).

#### A. Substitutive objektive Reparierbarkeit, SOR

Substitutive objektive Reparierbarkeit ist die konstruktionsmäßige Eignung einer Sache repariert zu werden, ohne dabei die strukturelle Integrität des Produkts herabzusetzen. Dies setzt sowohl die Verfügbarkeit der Einzelteile nach der Produktionsphase des Produkts voraus (direkte oder indirekte Ersatzteile), als auch die Möglichkeit zur Demontage und, falls anwendbar, lösbare Verbindungen (mechanisch/elektrisch). Diese hier definierte substitutive objektive Reparierbarkeit hat inhaltlich die wahrscheinlich größte Ähnlichkeit zu dem was umgangssprachlich mit dem Begriff 'Reparierbarkeit' bezeichnet wird. Dies ist auch insofern zutreffend, als dass jede wirtschaftlich sinnvolle Reparatur schlussendlich von dieser Art der Reparierbarkeit abhängt. Ermöglicht wird die substitutive Reparierbarkeit durch ihre frühzeitige Vorbereitung

während der Entwicklungsphase des Produkts und geht damit der Produktion des ersten Stücks eines Produkts zeitlich voraus. Die SOR ist notwendigerweise eine Produkteigenschaft, welche während der Entwicklung des Produkts ermöglicht wird und nur in Ausnahmefällen nachträglich als Produkteigenschaft etabliert werden kann. Obwohl alle Teile eines Produkts während der Entwicklungsphase des Produkts festgelegt werden, ist die Verfügbarkeit von Ersatzteilen keine Produkteigenschaft sondern eine organisatorische Entscheidung. Alle Ersatzteile sind dabei notwendig zumindest funktionsidentisch mit den Originalteilen. Nun kann die SOR in vier Stufen aufgeteilt werden, wobei die niedrigste Stufe das vollständige Fehlen von substitutiver Reparierbarkeit ist. Die zweite Stufe der SOR ist zugleich die erste Bedingung für Reparierbarkeit und das ist die Möglichkeit zur Demontage eines Produkts ohne dabei die strukturelle Integrität zu beschädigen ('Demontage ohne strukturelle Beschädigung'). Die dritte Stufe schliesst die zweite Stufe als Bedingung ein und gibt über die Verfügbarkeit von Original- oder QUAGAN [1] Teilen Aufschluss und über ihre leichte Zugänglichkeit. Die vierte und in dieser Betrachtung höchste Stufe beinhaltet die Eigenschaften der zwei darunterliegenden Stufen und erweitert diese dadurch, dass Produkte dieser Stufe von Anfang an für Reparierbarkeit entwickelt und vorbereitet wurden ('Reparaturfreundlich entwickelt' oder 'designed for repairability'). Die höchste Stufe der SOR stellt auch die optimale Reparaturfreundlichkeit bereit. Ohne beschädigungsfreie Demontage und ohne Verfügbarkeit von Ersatzteilen gibt es keine wirtschaftlich sinnvolle substitutive objektive Reparierbarkeit eines Produkts und die einzig verbleibende Option für objektive Reparierbarkeit ist die in Folge beschriebene AOR.

#### *B. Ausstattungsmäßige objektive Reparierbarkeit, AOR*

Ausstattungsmäßige objektive Reparierbarkeit fasst die Ausstattung und Werkzeuge zusammen, die für eine Reparatur notwendig sind. Dies mag von einem Zahnstocher bis hin zu einem speziell ausgestatteten Labor reichen. Das Fehlen von substitutiver objektiver Reparierbarkeit kann theoretisch immer durch Steigerung des Aufwands und damit der Kosten durch ausstattungsmäßige objektive Reparierbarkeit ausgeglichen werden. Es ist diese Reparierbarkeit, die immer als 'vorhandene' objektive Produkteigenschaft beansprucht werden kann. Wenn man wirtschaftlich sinnvolle Reparaturen zugrundelegt, also Reparaturen die kostengünstiger sind als der vollständige Ersatz des Produkts durch ein neues Stück, dann ist die AOR selbst am kostengünstigsten wenn sie auf ein absolutes Minimum begrenzt wird. Eine minimale AOR hängt von einer optimalen SOR ab oder, anders ausgedrückt, von einem Produkt das für Reparaturen entwickelt wurde. Die AOR ist eine Produkteigenschaft und wird letztendlich während der Entwicklungsphase bestimmt (wie die SOR). Wenn wieder eine vierstufige Skala für die AOR aufgestellt wird, dann ist die niedrigste Stufe der AOR die einfachste, minimalste und in aller Regel damit die kostengünstigste. Diese erste Stufe setzt nur Werkzeuge voraus, die allgemein verbreitet und mit hoher Wahrscheinlichkeit in jedem Haushalt zu finden sind.

Die zweite Stufe beschreibt AOR mit Werkzeugen, die ein niedriges Maß an Fertigkeit in ihrer Handhabung voraussetzen und allgemein nicht in jedem Haushalt vorzufinden sind. Die dritte Stufe zeigt den Bedarf an professionellen Werkzeugen und Ausstattung an. Die höchste Stufe der AOR beschränkt sich auf wissenschaftliche Ausstattung und Aufbauten, wie sie beispielsweise in spezialisierten Labors anzutreffen sind. Diese Skala der AOR gibt die optimale Reparierbarkeit bei niedrigster Stufe wieder. Das bedeutet, dass die niedrigste Stufe der AOR auch die einfachste und wirtschaftlichste Reparierbarkeit darstellt.

#### *C. Angeeignete subjektive Reparaturfähigkeit, ASR*

Angeeignete subjektive Reparaturfähigkeit ist jedes technische Verständnis, praktische Erfahrung oder Fertigkeit die es einer bestimmten Person erlaubt eine Reparatur durchzuführen und die sich diese Person bereits vor der Reparatur angeeignet hat. ASR ist immer relativ zu einem bestimmte Produkt und weil über die ASR bereits vor der Reparatur verfügt werden kann, ist sie verwandt mit der Fähigkeit ein Produkt zu entwickeln, es zu konstruieren oder zumindest unter Anleitung zu (de)montieren. Während das ergänzte Gegenstück zur ASR, die ESR, lediglich und ausschliesslich eine bestimmte Reparatur ermöglicht (siehe unten), ist die ASR wie sie hier verstanden wird ein breiteres Verständnis der technischen Funktionsprinzipien im Gegensatz zum Verständnis eines für die Reparatur relevanten Mechanismus. Ein Beispiel für einen solchen Mechanismus ist der bereits eingangs genannte Filter in einem Haushaltsgerät.

Wird die ASR auf einer Skala mit vier Stufen aufgetragen, charakterisiert die niedrigste Stufe wieder die einfachste und damit ein grobes Verständnis der Funktionsgrundlagen des Produkts. Die zweite Stufe beschreibt eine ASR auf Basis von Erfahrungen. Die dritte Stufe zeigt berufliche Erfahrung an, die üblicherweise mit Erfahrung mit AOR der dritten Stufe einhergeht. Die höchste Stufe der ASR trifft für Reparaturen zu, die nur unter Laborbedingungen möglich sind. Im Falle der ASR gibt diese Skala die optimale Reparaturfähigkeit auf der niedrigsten Stufe wieder. Das heisst, dass die niedrigste Stufe der ASR auch die wirtschaftlichste Reparaturfähigkeit darstellt. Die minimale ASR zur Ermöglichung einer Reparatur ist genaugenommen eine grundsätzliche Kenntnis der Sprache, um dadurch Reparaturanweisungen befolgen zu können, was auch auf die inklusiven Grundsätze einer 'Reparatur durch jedermann' hinweist. Pictographische Reparaturanleitungen reduzieren diese Minimalanforderungen weiter, sofern sie anwendbar sind.

#### *D. Ergänzte subjektive Reparaturfähigkeit, ESR*

Ergänzte subjektive Reparaturfähigkeit ist die Fähigkeit einer Person eine Reparatur durch Befolgen von spezifischen Informationen an einem spezifischen Produkt durchzuführen. Das Befolgen einer das Produkt ergänzenden Reparaturanleitung ist zugleich die einfachste Form der ESR. Eine Person mit Reparatur Erfahrung (ASR) kann eine Reparatur mithilfe einer Reparaturanweisung gegebenenfalls schneller,

genauer und sicherer durchführen, ist auf diese jedoch nicht notwendigerweise angewiesen. Eine Person mit geringer ASR ist dagegen eher auf die Verfügbarkeit von ESR angewiesen. Das Fehlen von ASR kann theoretisch durch die Steigerung der ESR ausgeglichen werden, ähnlich wie das Fehlen der SOR durch AOR ausgeglichen werden kann. Jedoch gibt es praktische Grenzen jenseits derer ein Reparatur nicht genug Zeit haben wird, der Aufwand für eine Reparatur also unwirtschaftlich wird. Diese praktische Grenze ist eine Limitierung des inhaltlichen Umfangs und der dadurch überbrückten, wissensmäßigen 'Distanz' einer Reparaturanweisung, die überbrückt werden kann ohne den Rahmen einer Reparaturanleitung zu sprengen. Damit Reparaturanweisungen inhaltlich zugänglich und praktisch leicht umsetzbar sein können, bedarf es einer reparierbaren Konstruktion, welche während der Entwicklungsphase des Produkts festgelegt wird. Es gibt also eine Beziehung zu den zwei objektiven Reparierbarkeiten. Theoretisch ist der kompetenteste Herausgeber von Reparaturanweisungen der Hersteller eines Produkts, da alle Informationen über das Produkt von Anfang an dort vorliegen. Es gibt jedoch viele ausgezeichnete Beispiele von Personen und Organisationen die Reparaturanleitungen unabhängig vom Hersteller bereitstellen, was die oben bereits genannte Beobachtung bestätigt, dass sich Reparieren als Allgemeingut etabliert, falls es das an diesem Punkt nicht bereits schon ist.

Wie oben kann nun eine Skala für ESR mit vier Stufen erstellt werden, wobei die niedrigste Stufe der Skala gleichbedeutend ist mit 'keine ESR' oder 'fehlender Reparaturinformationen'. Die zweite Stufe der ESR wird durch eine einfach zu befolgende Reparaturanleitung gegeben, welche nur die notwendigsten Informationen enthält und dabei vollständig ist. Die dritte Stufe beschreibt fortgeschrittene technische Informationen zum Produkt wie Schaltpläne oder mechanische Maßzeichnungen. Die vierte Stufe beschreibt ein Maß an Information über das Produkt welche Messungen zur Spannungsqualität oder anderweitige, detaillierte Dokumentationen enthält und damit für eine Reparatur direkt in der Regel nicht relevant sind. Damit eine Reparatur auch ohne ESR möglich ist, wird eine hohes Maß an ASR benötigt. Allgemein ergibt sich die optimale Reparaturfähigkeit auf der zweiten Stufe der ESR, wobei die Reparaturfreundlichkeit sowohl unter, als auch über der zweiten Stufe abnimmt. Dies liegt darin begründet, dass unterhalb der zweiten Stufe die ASR das Fehlen der ESR ausgleichen muss. Und die Stufen darüber benötigt wieder mehr ASR, um die entsprechenden Informationen hinsichtlich der durchzuführenden Reparaturschritte richtig zu interpretieren. Das liegt wiederum daran, dass die für die Reparatur notwendigen Informationen in der Regel nur implizit in denen der höheren ESR Stufen enthalten sind und zunächst von einer damit vertrauten Person herausgelesen werden müssen, was Stufe 3 oder 4 der ASR seitens der Reparaturin zur Bedingung macht. Falls jedoch höherwertige ESR durch allgemein verständliche und anwendbare Reparaturanweisungen komplementiert wird, dann macht es hinsichtlich der beschriebenen ESR Skala Sinn für solche Fälle eine Stufe 2 ESR auszusprechen, da damit der faktisch

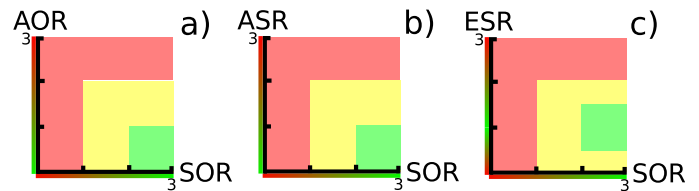


Fig. 4. Farblich dargestelltes Maß der Reparaturfreundlichkeit für jeweils zwei Aspekte in gegenseitiger Abhängigkeit. Die Diagramme zeigen, dass alle Aspekte Einfluss auf die Reparaturfreundlichkeit haben und deshalb bei der Bewertung der zusammengefassten Reparaturfreundlichkeit berücksichtigt werden müssen. Grün stellt optimale Reparaturfreundlichkeit, gelb stellt bedingte Reparaturfreundlichkeit und rot stellt erschwerte Reparaturfreundlichkeit dar. Erklärung siehe IV. (ASR: z.B. 'Fertigkeit', ESR: z.B. 'Reparaturanleitung', AOR: z.B. 'Werkzeuge', SOR: z.B. 'Ersatzteile'; eine detaillierte Beschreibung findet sich in Abschnitt III)

optimalen Reparaturfreundlichkeit Rechnung getragen wird.

Alle vier Aspekte der Reparierbarkeit und Reparaturfähigkeit sind in Abbildung 3 mit den in den vorangehenden Unterabschnitten beschriebenen Skalen zusammengefasst.

#### IV. QUALIFIZIERUNG VON REPARATURFREUNDLICHKEIT

Um die Reparaturfreundlichkeit eines Produkts festzustellen, müssen alle vier Aspekte berücksichtigt werden (siehe III). Abbildung 4 zeigt drei Diagramme mit drei Graden der Reparaturfreundlichkeit in den Farben grün, gelb und rot, welche einfache/hohe, bedingte/mittlere und erschwerte/geringe Reparaturfreundlichkeit wiedergeben. Abbildung 4 a) zeigt den Grad der Reparaturfreundlichkeit in Abhängigkeit von SOR und AOR. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass ein hoher SOR Stufe von 3 nicht per se auf eine hohe Reparaturfreundlichkeit schliessen lässt, da für den Fall einer Reparatur mit einer AOR auf Stufe 3 dies insgesamt zu einer erschwerten oder geringen Reparaturfreundlichkeit führt.

Das gleiche Muster hinsichtlich der Reparaturfreundlichkeit kann in Abbildung 4 b) gefunden werden, wobei hier ASR über SOR aufgetragen ist. Ähnlich wie in Abbildung 4 a) sind auch hier nur niedrige ASR Stufen in Kombination mit hohen SOR Stufen als Voraussetzung für hohe Reparaturfreundlichkeit abzulesen.

Abbildung 4 c) zeigt die ESR abhängig von der SOR. Und in Übereinstimmung mit der Definition der ESR in Abschnitt III ergibt sich die einfachste/höchste Reparaturfreundlichkeit für den Fall, dass ESR Stufe 1 in Kombination mit SOR Stufe 3 vorliegt, während die Reparaturfreundlichkeit abseits von diesem Optimum zu allen Seiten abnimmt.

Alle Diagramme der Abbildung 4 beziehen sich auf die SOR, weil weite Teile der aktuellen Debatte um Reparaturfreundlichkeit von Produkten sich scheinbar auf die SOR als vermeintliche Reparaturfreundlichkeit als solche konzentriert. Diese Konzentration der Debatte wird versucht durch diese Veröffentlichung in Frage zu Stellen, da offensichtlich hohe SOR Stufen kein Garant für einfache/hohe Reparaturfreundlichkeit sind. Nur ein Produkt welches die Bedingungen für

einfache/hohe Reparaturfreundlichkeit in allen drei Diagrammen erfüllt, also in allen vier Aspekten reparaturfreundlich ist, kann insgesamt als reparaturfreundlich und damit als allgemein reparierbar bezeichnet werden. Es ist die Auffassung des Autors, dass ein allgemein reparierbares Produkt von der Mehrheit seiner Nutzer repariert werden kann (siehe Definition der ASR in III. für die Mindestanforderungen). Mit diesen Punkten schliesst die Argumentation der Hauptpunkte dieser Veröffentlichung.

Die folgenden Abschnitte sind als Ausblick auf die Weiterentwicklung der hier vorgestellten Methode zur Qualifizierung von Reparaturfreundlichkeit, wie oben beschrieben, hinsichtlich einer Methode zur Quantifizierung der Reparaturfreundlichkeit.

#### V. DISPOSITION UND GRAD

siehe englisches Original

#### VI. AUFBAUKOMPLEXITÄT UND VOLUMEN

siehe englisches Original

#### VII. ZUSAMMENFASSUNG

Allgemein sind alle technischen Produkte reparierbar, denn sofern genügend Mittel und Zeit zur Nachahmung des Produktionsprozesses der Ersatzteile bereitsteht, können alle Teile wiederhergestellt werden. Jedoch sind derzeit nur sehr wenige Produkte 'allgemein reparierbar', also mit vertretbarem Aufwand durch jeden Nutzer und dabei wirtschaftlicher als eine Neuanschaffung. Diese Veröffentlichung legt dar, dass die reparierende Person durch ihre individuelle Reparaturfähigkeit wesentlich zum Erfolg einer Reparatur beiträgt und deshalb bei der Vorbereitung und Verbesserung der Reparaturfreundlichkeit eines Produkts systematisch berücksichtigt werden muss. Insbesondere wird die derzeit verbreitete Auffassung, dass Reparaturfreundlichkeit eine rein objektive Eigenschaft eines Produkts sei, widerlegt. Auf Basis der Unterscheidung zwischen dem Produkt selbst (objektiv) und der Reparaturfähigkeit des Nutzers (subjektiv) werden jeweils zwei weitere Unter Aspekte eingeführt. Objektive Reparierbarkeit teilt sich auf in substitutive objektive Reparierbarkeit (SOR), welche, in stark vereinfachten Worten, die reparaturfreundliche Konstruktion des Produkts und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen einerseits, und ausstattungsmäßige objektive Reparierbarkeit (AOR), zusammengefasst, die für die Reparatur notwendigen Werkzeuge und Bedingungen andererseits beschreiben. Subjektive Reparaturfähigkeit unterteilt sich in angeeignete subjektive Reparaturfähigkeit (ASR), welche technisches Vorwissen um Grundlagen und Funktionsprinzipien beschreibt, und in ergänzte subjektive Reparaturfähigkeit (ESR), welche ihrerseits Informationen aus einer produktspezifische Reparaturanleitungen bezeichnet. Es wird gezeigt, was Reparaturfreundlichkeit hinsichtlich aller genannter Aspekte auf einer Skala von null (0) bis drei (3) exakt bedeutet. Nur in allen vier Aspekten reparaturfreundliche, technische Produkte erfüllen die Bedingungen für allgemeine Reparaturfreundlichkeit. Diese Veröffentlichung beschreibt deshalb eine

allgemein anwendbare Methode zur Qualifizierung der allgemeinen Reparaturfreundlichkeit von technischen Produkten.

fs

Engl. Original: 15. März 2017; dt. Fassung: 30. August 2017

#### REFERENCES

- [1] IEC 62309 *Utilisation of Used Components in New Electrical and Electronic Products*
- [2] EN ISO 7250 *Basic human body measurements for technological design*