

Ahrens, Volker

Working Paper

Karakuri - ein neuer Baustein der schlanken Produktion

Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2020-02

Provided in Cooperation with:

Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Suggested Citation: Ahrens, Volker (2020) : Karakuri - ein neuer Baustein der schlanken Produktion, Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2020-02, Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/217228>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



ARBEITSPAPIERE DER NORDAKADEMIE

ISSN 1860-0360

Nr. 2020-02

**Karakuri – Ein neuer Baustein der schlanken
Produktion**

Prof. Dr.-Ing. Volker Ahrens

Mai 2020



Köllner Chaussee 11
25337 Elmshorn
www.nordakademie.de

Karakuri – Ein neuer Baustein der schlanken Produktion

Volker Ahrens

NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Karakuri ist in der japanischen Industrie bereits weit verbreitet, außerhalb Japans aber noch weitgehend unbekannt. Um dieses Konzept auch für die heimische Industrie nutzbar zu machen und um weitere Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen, werden im vorliegenden Beitrag zunächst die technischen Grundlagen erläutert. Daran schließen sich Analysen zu wesentlichen Anforderungen an: Wirtschaftlichkeit, Arbeitssicherheit und Umweltschutz. Schließlich werden Potenziale für weitere Entwicklungen aufgezeigt, die bereits Gegenstand entsprechender Forschungs- und Entwicklungsprojekte sind.

Stichworte: Lean Production, Low Cost Automation (LCA), Kaizen, Monozukuri, Frugale Innovation, Energy Harvesting, Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT), Symbolischer Interaktionismus, Boundary Objects, Affordanztheorie

1 Mechanismen

Dreißig Jahre nach dem Aufbruch zu einer schlanken Produktion einen nächsten Schritt auf dem Weg dorthin anzukündigen mag ambitioniert erscheinen. Tatsächlich offenbart ein Blick auf die japanische Industrie heute aber ähnlich Überraschendes wie seinerzeit die Studie des MIT (vgl. Womack et al. 2007). Mit Karakuri hat man dem Toyota Produktionssystem (TPS) inzwischen einen neuen Baustein hinzugefügt, und ein weiteres Mal gehört Toyota zu den Pionieren. Doch dank der Unterstützung und zentralen Koordination des in Japan einflussreichen Instituts für Anlageninstandhaltung (JIPM) wenden auch viele andere japanische Industrieunternehmen Karakuri längst erfolgreich an. Umso bemerkenswerter ist, dass dieses Konzept außerhalb Japans noch weithin unbekannt ist. Höchste Zeit also darüber nachzudenken, ob und gegebenenfalls inwieweit das auch für die heimische Industrie ein Weg sein kann, die Wirtschaftlichkeit weiter zu verbessern. Aber auch im Hinblick auf die gerade von der jungen Generation erwarteten Fortschritte beim Klimaschutz bietet Karakuri Potenzial.

Ursprünglich werden in Japan Puppen als Karakuri bezeichnet, die seit der Edo-Periode im 17. Jahrhundert für festliche Anlässe (Zashiki Karakuri), für Theateraufführungen (Butai Karakuri) oder zum Vergnügen (Dashi Karakuri) gebaut werden. Die Bewegungsfolgen, die solche Puppen vollführen, resultieren aus Mechanismen. Abbildung 1 zeigt die wohl bekannteste Puppe, die Tee serviert. Von einer Feder angetrieben, bewegt sie sich auf einen Gast zu. Nimmt dieser die volle Teetasse vom Tablett, bleibt die Puppe stehen. Setzt der Gast die leere Tasse wieder auf das Tablett, dreht die Puppe infolge des nun geringeren Gewichts der Tasse um und



Abbildung 1: Mechanische Puppe (Cha-hakobi ningyo 茶運び人形 (Tea-serving Boy) , The British Museum Images, Lizenz: CC BY-NC-SA 4.0)

kehrt zum Gastgeber zurück (vgl. Rani et al. 2015). Puppen wie diese gibt es seit der Antike auch in vielen anderen Kulturen (vgl. Strandh 1992, S. 171) und seit dem 18. Jahrhundert haben sich daraus auch zweckorientierte Anwendungen entwickelt (vgl. Giedion 1987, S. 65). Niemanden sonst haben solche Puppen dazu aber in der jüngeren Vergangenheit dermaßen inspiriert als die japanische Industrie.

Die weiteren Ausführungen werden zunächst die technischen Grundlagen von Karakuri erläutern. Daran schließen sich Analysen zu wesentlichen Anforderungen an technische Lösungen für Produktion und Logistik an: Wirtschaftlichkeit, Arbeitssicherheit und Umweltschutz. Und auch die Art der Entwicklung wird thematisiert, weil sie eine der Leitideen der schlanken Produktion betrifft (vgl. Liker 2016, S. 349 ff.). Daraus werden schließlich Handlungsfelder abgeleitet, die Gegenstand laufender Forschungs- und Entwicklungsprojekte sind.

2 Technische Grundlagen

In Produktion und Logistik steht Karakuri für eine rein mechanische Automatisierung (vgl. Kalbhor et al. 2018, S. 2435). Auf elektrische, elektronische oder digitale Komponenten sowie auf Hydraulik und Pneumatik wird so weit wie möglich verzichtet. Die in den Aktoren zur Leistungserbringung erforderliche Energie wird überwiegend aus der Schwerkraft der zu handhabenden Gegenstände und aus der Muskelkraft der Werker¹ gewonnen. Damit die aufzubringende Muskelkraft die aus ergonomischen Gründen gesetzten Grenzen nicht übersteigt, wird diese durch den Einsatz von Hebeln, Flaschenzügen oder Getrieben dosiert. Weiterhin kann Energie zuweilen auch aus Magnetismus gewonnen werden.

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Diese Art der Energiegewinnung entspricht dem derzeit vor allem aus der Mikroelektronik bekannten Energy Harvesting (vgl. Dembowski 2011), also der Gewinnung kleiner, aber für den Anwendungszweck ausreichender Energiemengen aus der jeweiligen Umgebung der Anwendung, beispielsweise durch Druck oder Vibration mit Hilfe des piezoelektrischen Effekts oder aus Temperaturdifferenzen durch Nutzung des Seebeck-Effekts. Doch auch in der Mechanik lässt sich Energie in der jeweils erforderlichen Größenordnung oft in der Umgebung des Verwendungsorts gewinnen. Bekanntes Beispiel sind mechanische Armbanduhren mit automatischem Aufzug, bei denen die Bewegung des Handgelenks die zum Betrieb der Uhr notwendige Energie liefert.

Ähnlich verhält es sich mit der für die Sensoren erforderlichen Energie zur Steuerung automatisierter Anlagen. Auch sie kann oft aus den auslösenden Aktionen gewonnen werden. So bringt zum Beispiel ein Kleinladungsträger (KLT), der eine schiefe Ebene hinab rollt und auf einen Anschlag trifft, der ihn zum Halten bringt, kinetische Energie mit, die in der Regel ausreicht, um einen mechanischen Sensor zu betätigen und seine Energie dabei an ihn weiterzugeben.

Schließlich kann auch die Verbindung zwischen Sensoren und Aktoren im Sinne einer Steuerung oft ohne Umweg über Elektrik und Elektronik hergestellt werden, beispielsweise über Bowdenzüge oder Hebel. Dadurch kann auf eine Umsetzung mechanischer Signale in elektronische Signale, auf deren Weiterleitung an elektronische Steuerungen, auf die dortige Verarbeitung durch Software, auf die wiederum elektronische Weiterleitung von Steuersignalen an Aktoren und auf die dortige Umsetzung elektrisch angetriebener Aktionen in mechanische Aktionen verzichtet werden. Hinzu kommt, dass Aktoren wie zum Beispiel Elektromotoren oft eine für die jeweilige Aufgabe viel zu hohe Drehzahl haben, die über Getriebe erst noch reduziert werden muss, und dass dann oft auch noch eine Umsetzung von Rotationsbewegungen in translatorische Bewegungen erforderlich ist. Alle dazu benötigten elektrischen, elektronischen, teilweise auch hydraulischen oder pneumatischen Elemente müssen in konventionell automatisierten Anlagen beschafft, implementiert, im laufenden Betrieb bedient und instandgehalten und schließlich entsorgt werden. Karakuri kann in vielen Anwendungsfällen vieles davon entbehrlich machen. Vor allem lassen sich dadurch in der Automatisierungspyramide alle Ebenen oberhalb der Feldebene einsparen. Hinzu kommt, dass an vielen Standorten der Welt elektrischer Strom nicht immer zuverlässig zur Verfügung steht. Während konventionell automatisierte Anlagen bei Stromausfällen zum Stehen kommen, können mechanisch automatisierte Anlagen auch dann noch weiterlaufen.

Zur Veranschaulichung von Funktionsprinzipien einer mechanischen Automatisierung ist in Abbildung 2 ein Lift dargestellt². In der ersten Szene rollt ein KLT auf einer als schiefe Ebene ausgeführten Rollenbahn auf den Lift zu. In der zweiten Szene wird die Plattform des Lifts durch die Schwerkraft des KLT abgesenkt. Gleichzeitig wird Energie in Federn gespeichert; die beiden Federzüge sind unten rechts am Lift angebracht. Die Seile laufen nach oben und sind über Umlenkrollen an der Plattform befestigt. In der dritten Szene senkt sich die Plattform nach

² Die dargestellte Anlage hat die Firma item der NORDAKADMIE zur Verfügung gestellt.

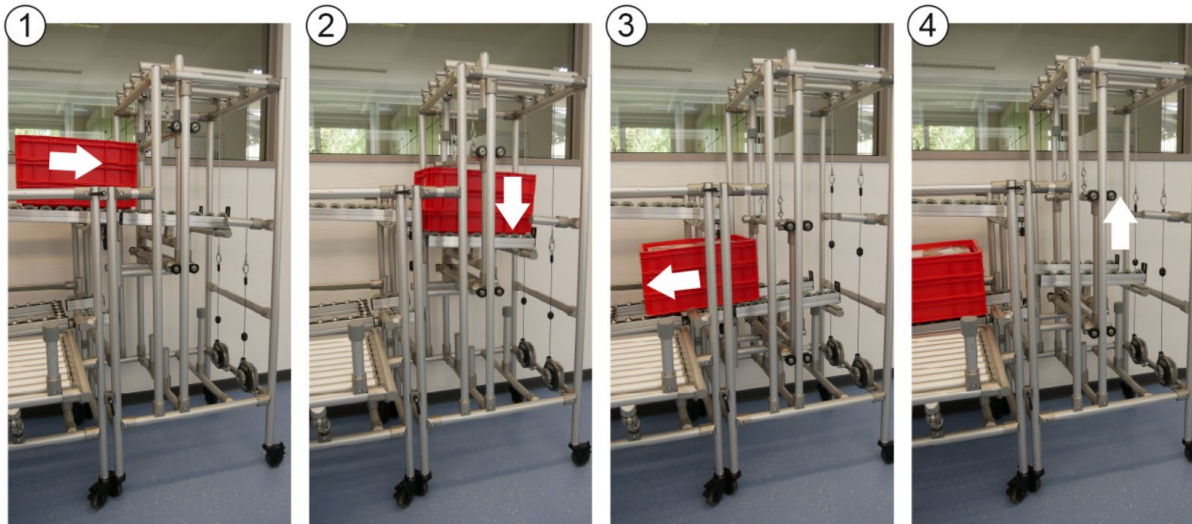


Abbildung 2: Beispiel eines durch Schwerkraft angetriebenen Lifts mit Federn als Energiespeicher

links ab, um den KLT auf die ebenfalls als schiefe Ebene ausgeführte Rollenbahn zu entlassen. Anschließend ziehen die Seilzüge den Lift wieder nach oben. Beim Verlassen der oberen Position stellt die Plattform des Lifts den in Abbildung 3 dargestellte Anschlag auf, um eventuell nachkommende KLT zu stoppen, bis die Plattform wieder oben angekommen ist.



Abbildung 3: Stoppvorrichtung für eventuell nachkommende KLT

3 Umweltschutz

Die weltweiten Proteste der jungen Generation haben in der letzten Zeit einmal mehr deutlich gemacht, dass der Schutz der natürlichen Umwelt zu einem der vorrangigen Ziele der kommenden Jahre und Jahrzehnte gehört. Dazu werden auch von der Industrie Beiträge erwartet. Karakuri bietet in dieser Hinsicht Potenzial, weil die vorrangig eingesetzte Energie aus Schwerkraft und Muskelkraft fast überall umweltverträglich zur Verfügung steht, während auf Elektrizität, Pneumatik und Hydraulik verzichtet werden kann.

Was bleibt, sind die mechanischen Komponenten. Davon werden bei einer mechanischen Automatisierung nur geringfügig mehr benötigt als bei konventionellen Anlagen. Daher gibt es in dieser Hinsicht keine Unterschiede, die als signifikant einzustufen wären. Gleichwohl sind die mechanischen Komponenten aus ökologischer Sicht nicht unproblematisch. Vor allem die Herstellung des am häufigsten verwendeten Werkstoffs Aluminium stellt ein Problem dar. Für den Abbau von Bauxit werden in Ländern wie Brasilien, Indien oder Guinea oft Ur- und Regenwälder abgeholzt. Pro Tonne Aluminium werden 4 Tonnen Bauxit benötigt, wodurch wiederum 10 Tonnen Abraum entstehen. Für die Herstellung eines Kilogramms werden durchschnittlich 15 Kilowattstunden Strom verbraucht – zehnmal so viel wie für die Herstellung von Weißblech. Der CO₂-Ausstoß beträgt weltweit durchschnittlich 10 Kilogramm pro Kilogramm

Aluminium. Weiterhin kommen zahlreiche Chemikalien wie zum Beispiel die stark ätzende Natronlauge zum Einsatz und das Erz selbst enthält neben Aluminium auch problematische Bestandteile wie Schwermetalle (Quecksilber, Cadmium, Arsen usw.) und radioaktive Stoffe (Uran, Thorium). Die Entsorgung von bis zu 3 Tonnen von damit kontaminierten Rotschlamm pro Tonne Aluminium stellt eines der wohl größten Probleme dar.

Allerdings kann Aluminium nahezu vollständig recycelt werden. Dazu wird nur noch 5 % der ursprünglich eingesetzten Strommenge verbraucht und auch giftige Rückstände fallen dabei kaum noch an. Aus ökologischer Sicht problematisch ist in dieser Hinsicht lediglich die Recyclingquote, die in Europa bei nur 60 %, in Deutschland allerdings immerhin bei 80 % liegt. Spitzenreiter Japan macht mit 95 % vor, dass auch hier noch Luft nach oben ist. Resümierend kann die ökologische Bedenklichkeit der Herstellung von Primäraluminium also durch die gute Recyclingfähigkeit zumindest ein Stück weit kompensiert werden.

Aus ökologischer Sicht bedeutender als die Herstellung des Ausgangsmaterials sind allerdings zwei andere Aspekte:

- Dazu gehört zum einen der Energieverbrauch im laufenden Betrieb, da dieser während der gesamten Nutzungsdauer anfällt. Auch wenn einzelne Komponenten relativ wenig Energie pro Zeiteinheit verbrauchen, kommt über die gesamte Laufzeit einiges zusammen. Rein mechanisch automatisierte Anlagen verbrauchen in dieser Zeit dagegen überhaupt keine ökologisch relevante Energie.
- Zum anderen gehen von vielen elektrischen und elektronischen Komponenten nach dem Erreichen ihrer wirtschaftlichen Nutzungsdauer Belastungen für die Umwelt aus, denn oft sind sie dann technisch veraltet und nicht weiter verwendbar, und mit ihrer Entsorgung gehen immer noch viele wertvolle Rohstoffe wie zum Beispiel seltene Erden verloren. Dagegen können die mechanischen Komponenten, die üblicherweise für Karakuri-Lösungen eingesetzt werden, in der Regel wieder- oder weiterverwendet werden, so dass nicht einmal ein Recycling des Werkstoffs erforderlich ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Karakuri über den gesamten Lebenszyklus von Anlagen von der Entwicklung über den laufenden Betrieb bis hin zur Entsorgung (Wieder- und Weiterverwendung bzw. Wieder- und Weiterverwertung) im Vergleich zu konventionellen Automatisierungslösungen ökologische Vorteile bietet. Angesichts der großen Zahl automatisierter Anlagen in allen Industrieunternehmen weltweit kann Karakuri daher einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der globalen Umweltbelastung leisten.

4 Arbeitsschutz

Hinsichtlich des Arbeitsschutzes sind an Karakuri-Lösungen die gleichen Anforderungen zu stellen wie an alle Anlagen, in denen Energie gewandelt wird. Dies gilt insbesondere in Bezug auf das Produktsicherheitsgesetz. Zwar ist nicht immer eindeutig, ob für Karakuri-Anlagen eine CE-Zertifizierung erfolgen muss, doch in der Praxis ist es üblich, eine solche sicherheitshalber vorzunehmen. Im Einzelfall kann das aber einer subjektiven Einschätzung unterliegen und Gegenstand von Verhandlungen zwischen Anlagenhersteller und Anlagenbetreiber sein.

Allerdings sind Vorkehrungen und Maßnahmen zum Arbeitsschutz in mechanisch automatisierten Anlagen häufig einfacher umzusetzen als in Anlagen, die Fremdenergie nutzen und elektronisch gesteuert werden. So entfallen beispielsweise Maßnahmen infolge eines Ausfalls der Energieversorgung gemäß Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie), Anhang I, Punkt 1.2.6 oder eines Fehlers einer solchen Versorgung gemäß Anhang I, Punkt 1.5.1.

Ein aktuelles Problem mechanisch automatisierter Anlagen kann in einer vergleichsweise hohen Geräuschemission liegen (Maschinenrichtlinie, Anhang I, Punkt 1.5.8). Dies gilt zum Beispiel für Rollenbahnen im Vergleich zu Gurtförderern. In dieser Hinsicht haben die Hersteller von Karakuri-Komponenten noch Nachholbedarf, bewegte Teile so auszulegen, dass die von ihnen verursachten Geräusche minimiert werden.

5 Wirtschaftlichkeit

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Karakuri sind Aufwand und Nutzen einander gegenüberzustellen und mit den entsprechenden Faktoren einer konventionellen Automatisierung zu vergleichen.

Beim Nutzen steht eine mechanische Automatisierung der konventionellen Automatisierung in vielen Anwendungsbereichen in nichts nach. So lässt sich eine Wegstrecke durch Nutzung der Schwerkraft des Transportguts auf einer abschüssigen Rollenbahn mit der gleichen Geschwindigkeit und Sicherheit zurücklegen wie mit Hilfe eines horizontalen, elektrisch angetriebenen Gurtförderers. Kleinladungsträger können mit Hilfe von Hebeln und Seilzügen ebenso zuverlässig vereinzelt werden wie durch einen Einsatz elektronischer Sensoren und elektrisch oder pneumatisch betriebener Aktoren. Aktionen lassen sich oft ohne besondere Anstrengung mit Muskelkraft genauso gut auslösen wie durch das Drücken von Knöpfen, die dann Signale an elektronische Sensoren und Steuerungen senden, um schließlich elektrisch angetriebene Mechanismen in Gang zu setzen. Und Energie lässt sich nicht nur elektrisch, sondern auch mechanisch speichern, beispielsweise als potenzielle Energie in Gewichten oder als Spannenergie in Federn. Insoweit liegen die mechanische und die konventionelle Automatisierung hinsichtlich ihrer Funktionalität in vielen Anwendungsfällen gleichauf.

Der Unterschied resultiert daher im Wesentlichen aus dem jeweiligen Aufwand. Dabei gilt es zunächst zu bedenken, dass auch eine konventionelle Automatisierung mechanischer Vorgänge mechanische Komponenten benötigt: eine Förderstrecke für Kleinladungsträger bleibt eine Förderstrecke, ob sie nun mechanisch oder elektrisch angetrieben wird. Entscheidend ist daher, wie die Logik des Zusammenwirkens der bewegten Teile oder Vorrichtungen bewirkt wird.

Für eine mechanische Lösung ist zunächst Energie zu mobilisieren. Diese speist sich oft aus der Schwerkraft des Transportguts. Dazu kann ein geeigneter Mechanismus wie zum Beispiel ein Hebel erforderlich sein, in bestimmten Fällen darüber hinaus auch ein Energiespeicher, also beispielsweise ein Gegengewicht oder eine Feder. Weiterhin werden unter Umständen Verbindungen zwischen mechanischen Sensoren und mechanischen Aktoren benötigt, zum Beispiel Bowdenzüge. Ganz ohne Sensoren, Energiespeicher und Aktoren lässt sich also auch eine mechanische Automatisierung nicht realisieren.

Für eine konventionelle Lösung werden dafür jedoch in der Regel erheblich teurere Komponenten verbaut. Wie das oben erläuterte Beispiel bereits gezeigt hat, werden mechanische Signale oft zunächst in elektronische Signale umgewandelt. Diese werden an übergeordnete elektronische Steuerungen weitergeleitet und dort mit Hilfe aufwändig zu programmierender Software verarbeitet. Von dort gehen elektronische Signale zum einen an die übergeordnete Leitebene, auf der Computer zur Überwachung und Lenkung eingesetzt werden, und zum anderen zurück auf die Feldebene, beispielsweise zu elektrischen Antrieben, die oft noch einmal eigene elektronische Komponenten wie zum Beispiel Frequenzumrichter benötigen. Zudem müssen die für übliche Anwendungen in der Regel viel zu hohen Drehzahlen elektrischer Motoren mit Hilfe von Getrieben in kleine Drehzahlen übersetzt werden, und daraufhin ist dann zuweilen auch noch eine Umsetzung der Rotationsbewegungen in translatorische Bewegungen erforderlich.

Energie aus Schwerkraft steht dagegen fast immer und überall kostenlos zur Verfügung. Demgegenüber muss elektrische Energie zum Betrieb elektrischer, pneumatischer oder hydraulischer Komponenten immer teurer bezahlt werden. Darüber hinaus fällt der Aufwand für Entwicklung, Betrieb und Instandhaltung für konventionell automatisierte Anlagen aufgrund ihrer Komplexität und der zu ihrer Bewältigung erforderlichen Qualifikation des entsprechenden Personals höher aus als für mechanisch automatisierte Anlagen. Und auch die bereits erläuterten Vorteile beim Umweltschutz und bei der Arbeitssicherheit bieten wirtschaftliche Vorteile. Daher lässt sich feststellen, dass eine mechanische Automatisierung überall dort, wo sie die Anforderungen erfüllt, einer konventionellen Automatisierung wirtschaftlich überlegen ist.

6 Entwicklung, Betrieb und Instandhaltung

Konventionelle Automatisierungstechnologien wie Elektrotechnik und Elektronik sowie im Zuge der Digitalisierung auch die Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnik sind abstrakt. Die naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten, nach denen sie funktionieren, liegen außerhalb der unmittelbaren Erfahrungswelt des Menschen. Darüber hinaus sind diese Technologien komplex, weil die erforderlichen Komponenten nicht nur horizontal entlang der automatisierten Prozesse, sondern zusätzlich auch vertikal in die Automatisierungspyramide integriert werden müssen. Zur Entwicklung und Instandhaltung solcher Technologien ist vor allem explizites Wissen (vgl. Nonaka/Takeuchi 2012) erforderlich, das im Zuge einer akademischen oder einer anspruchsvollen beruflichen Ausbildung erworben werden muss. Zwar lassen sich einfache Fehlerketten checklistenartig eingrenzen und schließlich lokalisieren, doch in den sich immer weiter ausbreitenden vernetzten Systemen kann dies sehr komplex werden.

Demgegenüber ist Mechanik konkret, gehört zur unmittelbaren Erfahrungswelt des Menschen. Mechanik ist sinnlich, im wahrsten Sinne des Wortes begreifbar. Man kann sie sehen, hören, manipulieren. Darüber hinaus ist sie zwar nicht immer einfach, aber bei weitem nicht so komplex wie elektrische, elektronische oder gar informations- und kommunikationstechnische Zusammenhänge. Dadurch erschließt sie sich dem impliziten Wissen (vgl. ebd.), das man auch als Erfahrungswissen oder Können bezeichnen kann. Diese Art der Qualifikation findet man vor allem beim Bedienpersonal.

In der Praxis kommt es oft zu Schwierigkeiten, wenn explizites und implizites Wissen aufeinandertreffen (vgl. Ahrens 2019, S. 2). Das ist vor allem bei der Implementierung neuer technischer und/oder organisatorischer Lösungen der Fall. Praktiker halten Experten dann oft fehlende Erfahrung vor, während Experten Anwendern ihrer Lösungen oft mangelnde Veränderungsbereitschaft unterstellen. Das Change-Management, das beide Welten miteinander versöhnen soll, setzt dabei unter anderem auf Partizipation, also auf die Beteiligung von Anwendern an der Entwicklung von Problemlösungen, die eigentlich in der Hand von Experten liegt.

Obwohl der Partizipation gerade im Zuge der Digitalisierung ein hoher Stellenwert beigemessen wird, um insbesondere die Akzeptanz neuer Technologien bei den Betroffenen zu fördern, wird sie selten praktiziert (vgl. z. B. Pfeiffer et al. 2018, S. 125). Tatsächlich beschränkt sich die Einbindung von Anwendern oft auf eine Information und Schulung im Zuge des Serienstarts.

Eine mechanische Automatisierung kann sehr viel leichter als die Nutzung abstrakter Technologien eine Brücke schlagen zwischen dem expliziten Wissen von Entwicklern und dem impliziten Wissen von Anwendern. Das belegen nicht nur praktische Erfahrungen in vergleichbaren Situationen, sondern auch sozialwissenschaftliche Theorien (vgl. Ahrens 2019). Zu diesen Theorien gehört zum Beispiel die Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT), die zu der Einsicht geführt hat, dass Objekte in sozialen Systemen eine ähnlich große Bedeutung haben wie Personen (vgl. Latour 2017, S. 121 ff.). Beide spielen vergleichbare Rollen. Mit Hilfe der Theorie des Symbolischen Interaktionismus lässt sich dies unter anderem dadurch erklären, dass Kommunikation Symbole verwendet, also Träger von Bedeutungen, die für alle Beteiligten in einem bestimmten Kontext hinreichend gleich sind. Solche Symbole können auch Objekte sein (vgl. Blumer 1969, S. 81 ff.). Wie Objekte beschaffen sein müssen, um eine gewünschte Wirkung zu entfalten, lässt sich aus der Theorie der Boundary Objects ableiten (vgl. z. B. Carlile 2002), und die Affordanztheorie erklärt schließlich, dass die Wirkung von Objekten vor allem auch daraus resultiert, dass sie zum Handeln auffordern (vgl. Gibson 1966, S. 346).

Auch die Komponenten, die zur Entwicklung von Karakuri-Lösungen eingesetzt werden, können als Boundary Objects wirken. So sind zu ihrer Montage nur wenige einfache Werkzeuge erforderlich. Weiterhin sind die Kosten der mechanischen Komponenten vergleichsweise gering und in der Regel können sie wieder- oder weiterverwendet werden, so dass Fehler bei ihrer Be- und Verarbeitung verzeihlich sind. Der aus Sicht der genannten Theorien wichtigste Aspekt ist jedoch, dass Karakuri-Lösungen bisher nicht am Reißbrett entworfen werden. In der Regel verzichtet man heute auf den beim methodischen Konzipieren (vgl. Naefe 2018, S. 90 ff.) üblichen Schritt der Abstraktion. Stattdessen werden sofort und unmittelbar in der Produktion konkrete Problemlösungen realisiert. In Japan sagt man in diesem Zusammenhang: „Monozukuri wa Hitozukuri kara“, Dinge zu machen beginnt damit, Menschen zu machen (bilden). Die dadurch zum Ausdruck kommende Werthaltung stammt aus der Handwerker-Ethik, nach der es gilt, Wissen, Können und Leidenschaft in die eigene Arbeit einzubringen und im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung (Kaizen) fortwährend nach Perfektion zu streben (vgl. Liker 2016, S. 349 ff.).

Arbeiten Experten und Anwender dabei zusammen, so können die einen ihr explizites und die anderen ihr implizites Wissen gleichermaßen einfließen lassen. Das dabei sukzessive entstehende Objekt vermittelt dazwischen fortwährend, indem es nach jedem Arbeitsschritt sofort offenbart, ob und gegebenenfalls inwieweit dieser dem angestrebten Ergebnis dient oder ob er in eine weniger aussichtsreiche Richtung führt. Ursachen und ihre Wirkungen werden unmittelbar erfahrbar. Zugleich tritt in den Hintergrund, ob die Ursachen auf theoretisch fundiertes Expertenwissen oder auf praktische Erfahrungen zurückzuführen ist. Beides manifestiert sich auf gleiche Weise im entstehenden Objekt und wird dadurch für die jeweils andere Seite verständlich und annehmbar.

Die Konsequenzen eines solchermaßen partizipativen Vorgehens lassen sich dahingehend auf den Punkt bringen, dass daraus erstens bessere Lösungen resultieren als bei einem Vorgehen, das entweder auf einem rein expliziten oder auf einem rein impliziten Wissen basiert, und dass daraus wiederum zweitens eine größere Akzeptanz bei den Anwendern folgt. Beides wirkt sich drittens positiv auf den laufenden Betrieb aus, denn Anwender, die an der Entwicklung von Lösungen maßgeblich beteiligt waren, fühlen sich dafür eher verantwortlich als für oktroyierte Lösungen. Daher werden sie eher bereit sein, Probleme, die während des Betriebs auftreten, selbstständig zu lösen, und da sie an der Entwicklung beteiligt waren, werden sie dazu auch in der Lage sein, dies umso mehr, als Mechanismen dies eher erlauben als elektrische, elektronische oder gar informations- und kommunikationstechnische Maschinen- und Anlagenteile: Eine lose Schraube ist schnell entdeckt und festgezogen, eine kalte Lötstelle auf einer Platine zu finden und zu beseitigen erfordert dagegen speziell ausgebildetes Personal und Geduld, letzteres allein schon dafür, auf das Eintreffen des Personals am Einsatzort zu warten.

7 Aktuelle Entwicklungen

Wie eingangs erwähnt wurde, ist Karakuri in der westlichen Welt noch weitgehend unbekannt. Daher gilt es zunächst, diesen Ansatz in seiner ganzen Tragweite zu erschließen. Dabei lässt die weite Verbreitung in der japanischen Industrie vermuten, dass Karakuri auch in der heimischen Industrie relativ schnell eingesetzt werden kann. Dazu stehen etablierte Anbieter mit entsprechenden Produkten bereit. Darüber hinaus zeichnen sich aber auch Potenziale ab, die es wissenschaftlich zu erschließen gilt. Drei bereits laufende Projekte werden nachfolgend skizziert.

Die Entwicklung von Karakuri-Lösungen folgt bisher keiner ingenieurwissenschaftlichen Methodik, wie sie beispielsweise in der VDI-Richtlinie 2221 dokumentiert ist (vgl. z. B. Naefe 2018). Stattdessen werden solche Lösungen ohne den Umweg über eine Abstraktion und Modellbildung unmittelbar realisiert. Dies erfolgt im Wesentlichen nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum und basiert im Übrigen auf implizitem Wissen, also auf Erfahrung (Können). Vor diesem Hintergrund zielen aktuelle Forschungsarbeiten darauf, das im Zuge einer Sozialisation gewonnene implizite Wissen im Sinne der Wissensspirale (Abbildung 4) von Nonaka und Takeuchi (vgl. 2012, S. 74 ff.) zu externalisieren, das dadurch neu gewonnene explizite Wissen

mit bereits vorhandenen Wissensbeständen zu kombinieren und daraus veränderte oder erweiterte Methoden zur Entwicklung von Automatisierungslösungen für Produktion und Logistik abzuleiten (Internalisierung).

Dazu ist es unter anderem erforderlich, die Wirkprinzipien von Karakuri zu kategorisieren und zu modellieren. Letzteres gilt auch für die Logiken der Mechanismen. Während es dafür zur Programmierung elektronischer Steuerungen spezifische Modellierungstechniken, Sprachen und entsprechende Tools gibt, fehlt es daran im Hinblick auf das Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten mechanisch zu realisierender Logiken. Benötigt werden solche Modellierungstechniken und -werkzeuge

aber insbesondere dann, wenn mechanische Formen der Automatisierung mit elektrischen und elektronischen sowie mit informations- und kommunikationstechnischen (digitalen) Formen kombiniert werden sollen, denn eine Kompatibilität der Modellwelten verspricht eine verbesserte Wirtschaftlichkeit von Entwicklung, Betrieb und Instandhaltung. Darüber hinaus wird es bei einer modellgestützten Entwicklung von Karakuri-Lösungen hilfreich sein, grundlegende mechanische Berechnungen skalierbar zur Verfügung zu stellen, um die Lösungsfindung technisch abzusichern und zu beschleunigen. Im Ergebnis soll ein skalierbares Baukastensystem zur Verfügung stehen, aus dem sich Karakuri-Lösungen auf einer höheren Aggregationsstufe als auf Einzelteilebene zusammensetzen lassen.

Potenzial birgt auch, dass Karakuri im Zuge der Entwicklung möglicherweise noch besser als zum Beispiel das Cardboard Engineering (vgl. z. B. Schuh et al. 2010, S. 659 ff.) zwischen implizitem und explizitem Wissen vermitteln kann. Beim Cardboard Engineering, einer aus dem Repertoire der schlanken Produktion stammenden Methode, werden in der Konzeptionsphase Modelle aus einfachen Materialien wie zum Beispiel Karton gebaut. Dabei arbeiten Experten und Vertreter der späteren Anwender der Entwicklungsergebnisse zusammen. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass sich dadurch bessere Ergebnisse erzielen lassen, als dies durch ein rein explizites oder ein rein implizites Vorgehen möglich ist, und dass daraus folgend die Akzeptanz der Entwicklungsergebnisse verbessert wird (vgl. Ahrens 2019).

Karakuri wird allerdings nicht, wie das Cardboard Engineering, in der Konzeptionsphase eingesetzt, von der aus noch ein langer Weg bis zur Einführung zurückzulegen ist. Vielmehr sind Karakuri-Lösungen nach ihrer Fertigstellung sofort einsatzbereit. Partizipation kann dadurch zweierlei bewirken: sowohl das Erzielen besserer Lösungen und eine daraus resultierende Akzeptanzverbesserung als auch eine Beschleunigung der Entwicklung. Daraus resultiert die Hoffnung, einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Change-Managements zu leisten. Im SECI-Modell von Nonaka und Takeuchi (Abbildung 4) liegt der Fokus dabei im Feld der Sozialisation. Allerdings wird dies mit der oben angesprochenen Entwicklungsmethodik sowie mit den Werkzeugen zur Unterstützung der Entwicklungsarbeiten abzustimmen sein.



Abbildung 2: SECI-Modell (Wissensspirale) von Nonaka und Takeuchi (2012, S. 74 ff.)

Schließlich zielen aktuelle Forschungsarbeiten auch auf einen Ausbau der Kompetenzorientierung in der akademischen Lehre sowie in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung (vgl. Ahrens 2020). Lernende sollen heute kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten erwerben, die benötigt werden, um Probleme zu lösen (Weinert 2001, S. 27 f.) Dazu sind neue pädagogische und didaktische Konzepte erforderlich, die vor allem ein individuelles Lernen ermöglichen und fördern. Erfahrungen mit dem Cardboard Engineering (vgl. Ahrens 2019) haben bereits gezeigt, dass der Einsatz von Objekten dazu einen signifikanten Beitrag leisten kann. Aktuelle Untersuchungen gehen der Frage nach, ob und gegebenenfalls wie Karakuri die bereits vorhandenen Konzepte ersetzen oder ergänzen kann. Grundlagen dafür sind neben der soziologischen Systemtheorie (vgl. Luhmann 1996) die Akteur-Netzwerk-Theorie (vgl. Latour 2017), die Affordanztheorie (Gibson 1973; Norman 2013), der Symbolische Interaktionismus (vgl. Blumer 1969) und die Theorie der Boundary Objects (vgl. Carlile 2002; Star/Griesemer 1989)

8 Einordnung

Karakuri kann, ebenso wie das Konzept der schlanken Produktion, als frugale Innovation charakterisiert werden. Im Lateinischen meint frugales soviel wie einfach und sparsam, aber auch nutzbar und tauglich (vgl. z. B. McMurray/de Waal 2019; Weyrauch 2018). Frugale Lösungen beschränken sich auf das unmittelbar Notwendige. Das allerdings muss einwandfrei sein, langlebig und wartungsarm. Vor diesem Hintergrund erscheint es zulässig, Karakuri als einen neuen Baustein der schlanken Produktion einzustufen. Die Ergänzung der bereits etablierten Bausteine durch eine mechanische Automatisierung kann dieser seit inzwischen 30 Jahren anerkannten Leitidee auch in Unternehmen außerhalb Japans neuen Schwung geben.

Die konventionelle Automatisierung kann von Karakuri ebenso profitieren wie die derzeit angestrebte Weiterentwicklung mit Hilfe digitaler Technologien, denn die mechanische Automatisierung ergänzt das Lösungsspektrum dort, wo, den Kerngedanken frugaler Innovationen folgend (vgl. z. B. Sawaguchi 2016, S. 1076), weniger mehr ist (more with less) und wo es darum geht, nicht so gut wie möglich zu sein, sondern so gut wie nötig (good enough). In dieser Hinsicht könnte man von einer Renaissance der Mechanik sprechen.

9 Literatur

Ahrens, Volker (2019): *Arbeitssystemgestaltung mit Cardboard Engineering*. Arbeitspapiere der NORDAKADEMIE, Nr. 2019-02.

Ahrens, Volker (2020): *Kompetenzorientierte Lehre zur Förderung der Reflexions- und Innovationsfähigkeit: Lernkatalysatoren und konvertierende Objekte*. Arbeitspapiere der NORDAKADEMIE, Nr. 2020-01.

Bhanu, Manish Vijaya/Kumar, Prayag Bellur Shashi (2018): *Global study and implementation of Karakuri*. Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Carlile, Paul R. (2002): *A Pragmatic View of Knowledge and Boundaries: Boundary Objects in New Product Development*. *Organization Science* 13 (4), S. 442-455.

- Dembowski, Klaus (2011): *Energy-Harvesting für die Mikroelektronik: energieeffiziente und -autarke Lösungen für drahtlose Sensorsysteme*. VDE-Verlag, Berlin.
- Gibson, J. J. 1966: *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Greenwood Press, Westport. Reprinted 1983.
- Giedion, Sigfrid (1987): *Die Herrschaft der Mechanisierung*. Athenäum Verlag, Frankfurt am Main.
- Kalbhor, Omkar/Neve, Tannay/Pachpor, Omkar/Bhoite, Nikhil/Deshmukh, Aniket (2018): *Study of Karakuri Kaizen*. IJSRD – International Journal of Scientific Research & Development. Vol. 6, Issue 02, S. 2435-2437.
- Latour, Bruno (2017): *Eine neue Soziologie für eine neue Gesellschaft*. 4. Aufl. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Liker, Jeffrey K. (2016): *Der Toyota Weg: Erfolgsfaktor Qualitätsmanagement*. 10. Aufl. Finanzbuch-Verlag, München.
- Luhmann, Niklas (1996): *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. 6. Aufl. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- McMurray, Adela J./ de Waal, Gerrit A. (Hrsg.): *Frugal Innovation: A Global Research Companion*. Routledge, Abingdon/New York.
- Naefe, Paul (2018): *Methodisches Konstruieren: Auf den Punkt gebracht*. 3. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Nonaka, Ikujiro/Takeuchi, Hirotaka 2012: *Die Organisation des Wissens: Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen*. 2. Aufl. Campus Verlag, Frankfurt am Main/New York.
- Norman, Don (2013): *The Design of Everyday Things*. Basic Books, New York.
- Pfeiffer, Sabine/Held, Maximilian/Lee, Horan (2018): *Digitalisierung „machen“ – Ansichten im Engineering zur partizipativen Gestaltung von Industrie 4.0*. In: Hofmann, Josephine: *Arbeit 4.0 – Digitalisierung, IT und Arbeit: IT als Treiber der digitalen Transformation*. Springer Vieweg, Wiesbaden. S. 113-129.
- Rani, Dhiyaneswar/Saravanan, A. K./Agrewale, Mohammad Rafiq/Ashok, B. H. (2015): *Implementation of Karakuri Kaizen in Material Handling Unit*. SAE Technical Paper 2015-26-0074.
- Sawaguchi, Manabu (2016): *How does Japanese „Kaizen Activities“ Collaborate with „Jugaad Innovation“?* Proceedings of PICMET '16: Technology Management for Social Innovation. S. 1074-1085.
- Schuh, Günther/Kampker, Achim/Franzkoch, Bastian/Wesch-Potente, Cathrin/Swist, M Mateusz (2010): *Praxisnahe Montagegestaltung mit Cardboard Engineering*. In: wt Werkstatttechnik online 9, S. 659-664.

- Star, Susan Leigh/Griesemer, James R. (1989): *Institutional ecology, 'translations' and boundary objects: Amateurs and professionals in Berkley's Museum of Vertebrate Zoology. 1907-39*. Social Studies of Science 19, S. 387-420.
- Strandh, Sigvard (1992): *Die Maschine: Geschichte – Elemente – Funktion*. Weltbild Verlag, Augsburg.
- Weyrauch, Timo (2018): *Frugale Innovationen: Eine Untersuchung der Kriterien und des Vorgehens bei der Produktentwicklung*. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Weinert, Franz Emanuel (Hrsg.) (2001): *Leistungsmessung in Schulen*. 2. Aufl. Beltz, Weinheim.
- Womack, James P./Jones, Daniel T./Ross, Daniel (2007): *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production – Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing Industry*. Free Press. New York/London/Toronto/Sidney.

10 Abbildungen

Abbildung 1: The British Museum Images (Hrsg.) (2005): Cha-hakobi ningyo 茶運び人形 (Tea-serving Boy), AN91797006, (https://research.britishmuseum.org/collectionimages/AN00091/AN00091797_006_m.jpg) Lizenziert unter <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Der Autor

Volker Ahrens, 1963 in Bremen geboren, studierte Maschinenbau an der Universität Hannover und promovierte bei Prof. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. sc. h.c. Dr.-Ing. Hans-Peter Wiendahl am Institut für Fabrikanlagen (IFA) der gleichen Universität zu systemtheoretischen Grundlagen und Anwendungspotenzialen einer dezentralen Produktionsplanung und -steuerung. Anschließend war er 10 Jahre in der Geschäftsleitung mittelständischer Industrieunternehmen tätig, zuletzt als Technischer Geschäftsführer. Seit 2007 ist er Professor an der NORDAKADEMIE, einer privaten, staatlich anerkannten Fachhochschule mit Standorten in Elmshorn und Hamburg. Dort leitet er den Bachelor-Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen und lehrt Produktions- und Qualitätsmanagement, Logistik/Prozessmanagement sowie Projektmanagement. Darüber hinaus ist Prof. Ahrens Mitglied des Vorstands des Verbands für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung – REFA Nordwest e. V., Regionalverband Nord.