

# 1 Einleitung

Diese Arbeit fokussiert das in die Zukunft gerichtete Organisationsparadigma der linienlosen mobilen Montagesysteme, welches die nächste Evolutionsstufe der gegenwärtig in Wissenschaft und Praxis viel diskutierten Matrix-Produktion darstellt. Die Operationalisierung beider Paradigmen stellt dabei eine zentrale Herausforderung dar. Für die linienlose mobile Montage werden nachfolgend ein Beschreibungsmodell des operativen Betriebs, ein holistischen Feinplanungsmodell sowie eine Steuerungssystemarchitektur präsentiert. Eine Übertragbarkeit auf die weniger komplexe Matrix-Produktion ist gegeben.

Im folgenden Abschnitt 1.1 wird die Motivation dieser Arbeit, nämlich das Schaffen zusätzlicher Flexibilitätskorridore durch alternative Organisationsparadigmen in Produktion und Montage aufgezeigt. Die wissenschaftstheoretische Ausrichtung wird in Abschnitt 1.2 erörtert, denn sie lieferte das Rahmenwerk zur Ausgestaltung des ex post dargelegten Forschungsprozesses. In Abschnitt 1.3 wird die Zielsetzung und der heuristische Bezugsrahmen dargelegt. In Abschnitt 1.4 wird der weitere Aufbau erläutert.

## 1.1 Flexibilitätsbedarf bei der Organisation von Montagesystemen

Zu den globalen Entwicklungen und dominierenden Treibern, die derzeit das produzierende Gewerbe in Deutschland vor Herausforderungen stellen, zählen BAUERNHANSL UND MIEHE den demografischen Wandel, die Urbanisierung, das Wirtschaftswachstum in Schwellenländern, die Individualisierungsbedarfe stark vernetzter Gesellschaften und die Nachhaltigkeit<sup>1</sup>. Das Umfeld der Produktion wird als *turbulent* und *komplex* charakterisiert, denn Währungskrisen, steigende Rohstoffpreise, abnehmend zuverlässige Lieferketten und der Klimawandel wirken direkt oder indirekt auf Wertschöpfungsketten.<sup>2</sup> WARNECKE wählte bereits 1993 den Begriff der Turbulenz zur Charakterisierung des Umfelds der Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Anpassungsfähigkeit wurde und wird weiterhin als wesentlicher Faktor zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit unter veränderlichen Randbedingungen, insbesondere im Bereich der Montage identifiziert.<sup>3</sup>

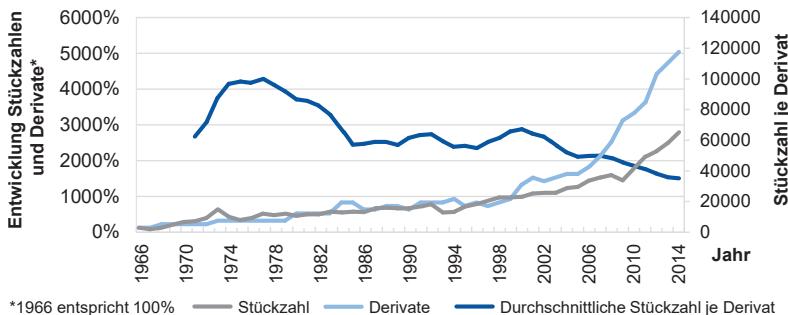
Stets kann eine bleibende Regelabweichung zwischen den Produktionssystemen der Unternehmen und den turbulenten und dynamischen Randbedingungen an internationalen Märkten beobachtet werden: Kunden fordern kurzzyklisch individuelle Produkte in hoher Qualität zu niedrigen Preisen und mit kurzen Lieferzeiten. Dem gegenüber steht das langzyklische strategische Ziel der

<sup>1</sup> BAUERNHANSL und MIEHE, 2020, S. 18ff

<sup>2</sup> BAUERNHANSL und MIEHE, 2020, S. 23

<sup>3</sup> WARNECKE, 1993, S. 19, 23, 134ff; BAUERNHANSL und MIEHE, 2020, S. 24

Sicherung des nachhaltigen Fortbestandes der Unternehmen<sup>4</sup>. Analog zur Regelungstechnik gilt es, durch geeignete Maßnahmen den Betrag der Regeldifferenz zu minimieren und im Idealfall auf Null zu reduzieren (marktsynchrone Produktion).



**Abbildung 1.1:** Steigende Varianz am Beispiel PKW in Anlehnung an KERN ET AL.<sup>5</sup>

Am Beispiel des Marktes der Personenkraftwagen zeigt Abbildung 1.1 die Entwicklung von Stückzahlen und Derivaten seit 1966. Bei gleichbleibender Ausbringungsmenge wird gefordert, dass höhere Unterschiedlichkeiten je Produktvariante auf einer Montagelinie realisiert werden können<sup>6</sup>. Die gleichzeitig kürzer werdenden Lebenszyklen sorgen für zunehmend häufigere und aufwändige Umplanungsmaßnahmen<sup>7</sup>.

Ein Ansatz um dieser Dynamik gerecht zu werden, ist die Relaxierung starrer Randbedingungen und Strukturen (Flexibilisierung) in Produktion und Montage durch die Etablierung alternativer Organisationsparadigmen. Organisation beschreibt dabei die Ausprägung des Arbeitsablaufes und damit die konkrete Gestaltung des räumlichen und zeitlichen Zusammenwirkens von Betriebsmitteln und Menschen im System<sup>8</sup>. Montage ist als „Zusammenbau von Teilen und/oder Gruppen zu Erzeugnissen oder zu Gruppen höherer Erzeugnisebenen in der Fertigung“ zu verstehen. Teile sind dabei „in sich geschlossene, aus zwei oder mehr Teilen und/oder Gruppen niedrigerer Ordnung bestehende Erzeugnisse“<sup>9</sup>. Die Tätigkeiten in der Montage umfassen vor allem die Vorgänge des Fügens, Handhabens und Kontrollierens, Justierens sowie Sonderoperationen<sup>10</sup>.

Die Bedeutsamkeit der Montage und ihrer Organisation wird bei weiterer Betrachtung gesamtwirtschaftlicher und produktionstechnischer Kennzahlen deutlich: Sie ist zentraler Ort der Wert-

<sup>4</sup> SCHREYÖGG und KOCH, 2020, S. 153; ATZERT, 2011, S. 54; WARNECKE, LÖHR und KIENER, 1975, S. 12

<sup>5</sup> KERN, RÜSITSCHKA u. a., 2015, KERN, 2021, S. 50

<sup>6</sup> KERN, 2021, S. 50

<sup>7</sup> SIEDELHOFER u. a., 2017, S. 141f; KERN, 2021, S. 50

<sup>8</sup> MOTZER, 2015, S. 6

<sup>9</sup> VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1990 (Richtlinie 2018 zurückgezogen, Erscheinungsdatum Revision 2023)

<sup>10</sup> DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V., 2003; VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1990; LOTTER und WIENDAHL, 2006, vgl. S. 2

schöpfung (bis zu 70% Wertschöpfungsanteil in der Einzel- und Serienmontage)<sup>11</sup>. Je nach Produkt beansprucht sie 15% bis 70% der Gesamtfertigungszeit. Zudem ist die Montage aufgrund des hohen Anteils manueller Arbeiten im Vergleich zu klassischen Fertigungstechnologien (bspw. Zerspanen, Umformen, Kunststofftechnik) zur teuersten wertschöpfenden Aktivität, insbesondere am Hochlohnstandort Deutschland geworden<sup>12</sup>. Konkret betragen die anteilig durch die Montage entstehenden Kosten bis zu 44% der Gesamtkosten der Produktion<sup>13</sup>. Ferner kann mit ihr eine signifikante Wirtschaftsleistung assoziiert werden: In 2021 waren in Deutschland 7.47 Millionen Erwerbstätige<sup>14</sup> in 46158 Betrieben des verarbeitenden Gewerbes (exklusive Bergbau) tätig und erwirtschafteten einen Umsatz von insgesamt 1.98 Billionen €<sup>15</sup>. Den größten Anteil stellt dabei der Maschinenbau mit ca. 0.94 Millionen Erwerbstätigen und einem Umsatz von ca. 232.66 Milliarden € in 2022 dar. Wesentlich sind zudem die Wirtschaftszweige Herstellung von Kraftwagen und sonstiger Fahrzeugbau.<sup>16</sup> WARNECKE unterstreicht, dass das „Montieren, Zusammensetzen und Installieren“ die überwiegenden Tätigkeitsschwerpunkte eben dieser Wirtschaftszweige darstellt. Diese Ausgangssituation motiviert Rationalisierungspotentiale.

Ein Organisationsparadigma, das die geforderte Relaxierung der starren Randbedingungen in Montagesystemen perspektivisch ermöglichen kann, stellt das Line-less Mobile Assembly System (LMAS) dar. Im Vergleich zu den etablierten Ansätzen, bspw. dem Flexible Assembly System (FAS), dem Reconfigurable Assembly System (RAS) oder der Matrix-Produktion bietet es den höchsten Grad an Anpassungsfähigkeit gegenüber externen Einflüssen der Märkte: Linienlose mobile Montagesysteme ermöglichen kurzzyklisch den räumlich und zeitlich temporären Aufbau von Mehrzweckmontagestationen in der Fabrik. Dazu befähigt technologisch die Verwendung von mobilen Roboterplattformen. Infolgedessen können individuelle Auftragsrouten für Produkte in Losgröße 1 realisiert werden. Abbildung 1.2 stellt auf der einen Seite den Verlauf der Trends und Einflüsse auf die Produktion in der Vergangenheit dar. Auf der anderen Seite werden Organisationsparadigmen, die in der Praxis und Wissenschaft diskutiert werden, hinsichtlich Ausbringungsmenge und Variantenvielfalt eingeordnet.

---

<sup>11</sup> POTENTE, 2014, S. 16f

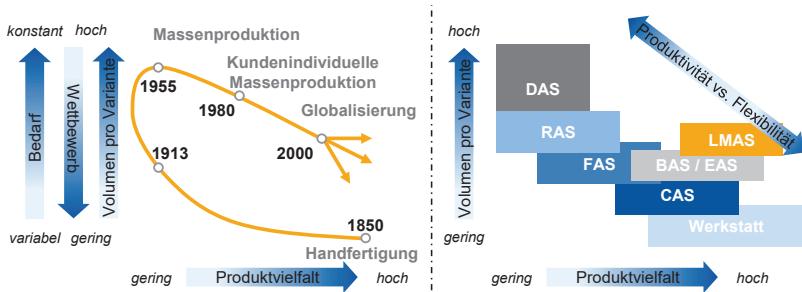
<sup>12</sup> LOTTER und WIENDAHL, 2006, S. 3ff

<sup>13</sup> POTENTE, 2014, S. 17

<sup>14</sup> STATISTISCHES BUNDESAMT, 2022c

<sup>15</sup> STATISTISCHES BUNDESAMT, 2022a

<sup>16</sup> STATISTISCHES BUNDESAMT, 2022b



**Abbildung 1.2:** Entwicklung von Organisationsparadigmen der Montage im Zusammenhang der Produktindividualisierung<sup>17</sup>

Die Orchestrierung der neuartigen, linienlosen mobilen Montagesysteme erfordert dabei Algorithmen zur Planung und Steuerung des operativen Betriebes. Gleichzeitig ist über die Aufstellungsorte von Arbeitsstationen in der Fabrik, über die Zuordnung von notwendigen (mobilen) Ressourcen zum Betrieb der Stationen sowie über die Zuordnung von Aufträgen zu diesen Stationen und über den zeitlichen Ablauf aller Aktivitäten zu entscheiden. Die Umsetzung der Entscheidungen durch die angebundenen, automatisierten Ressourcen ist sicherzustellen. Die dazu notwendigen Modelle, insbesondere ein geeignetes Optimierungs- und ein Architekturmodell werden in dieser Arbeit entwickelt, um den Betrieb des LMAS zu befähigen.

## 1.2 Wissenschaftstheoretische Ausrichtung

Die Ausarbeitung der Modelle erfolgt unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten. Gemäß ULRICH UND HILL konstituiert sich Wissenschaft aus menschlichem Denken, das in spezialisierten Institutionen nach bestimmten Regeln stattfindet. Die zu genügenden Regeln stellen ein Konsensusproblem in Abhängigkeit vom soziokulturellen, fakultativen, und institutionellen, raumzeitlichen Zusammenhang dar.<sup>18</sup> Ein Konzept, das Erkenntnisfortschritt garantiert, wird aufgrund der Unlösbarkeit des Induktionsproblems ausgeschlossen<sup>19</sup>.

Die Wissenschaftssystematik nach ULRICH UND HILL (siehe Abbildung 1.3) unterscheidet Formal- und Realwissenschaften. Formalwissenschaften betreffen die Definition und Konstruktion von Sprachen bzw. Zeichensystemen und angeschlossenen Verwendungsregeln (Semantik und Syntax)<sup>20</sup>. Realwissenschaften betreffen die Beschreibung, Erklärung und Gestaltung und haben empirische, sinnlich wahrnehmbare „Wirklichkeitsausschnitte“ zum Gegenstand<sup>21</sup>. Die Realwissenschaften

<sup>17</sup> in Anlehnung an KOREN, 2010a, S. 34; Hu u. a., 2011, S. 728; ELMARAGHY, SCHUH u. a., 2013, S. 642

<sup>18</sup> ULRICH, 1976

<sup>19</sup> ULRICH, 1976, S. 346; POPPER, 1935, S. 19

<sup>20</sup> SCHANZ, 1987, S. 2039, ULRICH, 1976, S. 305

<sup>21</sup> ULRICH, 1976, S. 305