

Bewertungs- und Gestaltungsrichtlinien für wandelbare Materialflusssysteme

Zunehmende Verkürzungen der Produktlebenszyklen in Verbindung mit einem hohen Innovationsdruck im Bereich der Produktionstechnologien, der Trend zur Fertigung kundenindividueller Produkte und damit gekoppelt eine hohe Variantenvielfalt erfordern eine schnelle und effiziente Anpassung der Fabrikstruktur hinsichtlich Größe, Funktion und Strukturen auf veränderte Rahmenbedingungen. Im Rahmen des am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München durchgeführten Forschungsprojektes „Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen“ wurden Konzepte entwickelt, um Materialflusssysteme fit für die Zukunft zu machen.

- Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner
- Dipl.-Ing. Markus Heinecker

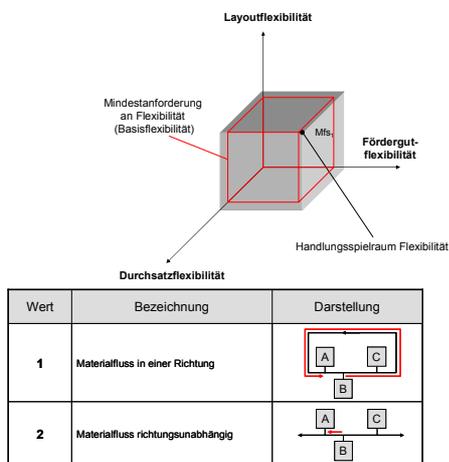
Ausgangssituation

Flexible und wandelbare Fabrikstrukturen werden zunehmend zu Erfolgsfaktoren für den Erhalt und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit von Fabriken. Wandlungsfähigkeit – auf die technische Seite bezogen auch Wandelbarkeit genannt – ist dabei als eine Art Steigerung von Flexibilität anzusehen. In Ergänzung zur Flexibilität, die eine Anpassungsfähigkeit in vorgehaltenen Dimensionen und Szenarien beschreibt, müssen wandelbare Fabrikstrukturen zusätzlich die Anforderung erfüllen, auf ungeplante und vorab nicht bedachte Ereignisse selbständig reagieren zu können. Bei Gestaltung von wandelbaren Fabrikstrukturen spielen Materialflusssysteme eine große Rolle. Veränderungen in dynamischen Produktionsstrukturen, hervorgerufen z.B. durch neu eingeführte Produkte oder Produktionsverfahren, führen in den meisten Fällen direkt zu Veränderungen in den innerbetrieblichen Materialflusssystemen, vor allem bei Transportsystemen zwischen den Fertigungsbereichen.

Bewertung wandelbarer Materialflusssysteme

Bei der Bewertung der Wandelbarkeit von Materialflusssystemen stellten sich die Anforderungen nach Layout-, Fördergut- und Durchsatzflexibilität als die wichtigsten Kriterien dar. Damit ein System wandelbar ist, also auf alle ungeplanten Ereignisse reagieren kann, müssten diese drei Anforderungen zu 100% erfüllt sein. Ein wirtschaftlicher Betrieb wäre aber damit nicht mehr möglich. Somit müssen Materialflusssysteme die Eigenschaft aufweisen, durch systemeigene Komponenten erweitert (Erweiterungsfähigkeit) oder durch andere, verschiedenartige Systeme neu ergänzt zu werden (Integrationsfähigkeit). Welche dieser beiden Methoden angewandt wird, um das Flexibilitätspotenzial an die neuen Anforderungen anzupassen, ist am Ende eine Frage der Wirtschaftlichkeit.

Wert	Bezeichnung	Darstellung
1	Feste Verbindung und räumliche Fixierung der Übergabepunkte	
2	Übergabepunkte variabel innerhalb einer geraden Linie	
3	Übergabepunkte variabel innerhalb einer beliebiger Linie: - Variabel innerhalb fix vorgegebener Linie	
4	Übergabepunkte variabel innerhalb einer beliebiger Linie: - Variabel innerhalb zur Verfügung stehender Transportwege	
5	Übergabepunkte unabhängig vom Layout	



Anzahl und Größe	Behälter-handling	
	Durch Lastaufnahmemittel selber	Durch zusätzliches Ladehilfsmittel
Anzahl und Größe fest	① Lastaufnahmemittel	② Ladehilfsmittel
Anzahl und Größe variabel (1-D)	③ Lastaufnahmemittel	④ Ladehilfsmittel
Anzahl und Größe variabel (2-D)	⑤ Lastaufnahmemittel	⑥ Ladehilfsmittel

Abbildung 1: Bewertungskriterien am Beispiel der Funktion „Transportieren“

Eine Auswahl von Materialflusssystemen erfolgt in der Grobplanungsphase in einem ersten Schritt anhand der Mindestflexibilitätsanforderungen, die auf in der Zukunft geplante Ereignisse beruhen und somit vorhersehbar sind. Dabei wird nochmals unterschieden, ob in die Flexibilität sofort investiert wird, oder ob z.B. aus wirtschaftlichen Gründen das Flexibilitätspotenzial erst später aktiviert wird. In diesem Fall

wurde der Begriff der erweiterten Flexibilität eingeführt. Die Aktivierung kann durch systemeigene Komponenten oder durch den Einsatz systemfremder Materialflusssysteme erfolgen. Am Beispiel der Materialflussfunktion „Transportieren“ wurden Kriterien für die Bewertung der Layout-, Durchsatz- und Fördergutflexibilität erarbeitet (vgl. Abbildung 1). Mit Hilfe dieser Kriterien ist es in der Planungsphase möglich, anhand der geforderten Flexibilität eine Vorauswahl der zur Verfügung stehenden Materialflusssysteme zu treffen. Dabei handelt es sich um eine Vorauswahl anhand der Flexibilitätsanforderungen.

Falls das eingeplante Flexibilitätspotenzial nicht ausreicht, bedarf es einer Erweiterung des bestehenden Systems oder der Integration anderer Materialflusssysteme (= Wandelbarkeit). Diese Betrachtung stellt den zweiten Teil der Auswahl von Materialflusssystemen in der Grobplanungsphase dar. Für die Erweiterung des bestehenden Systems mit eigenen Komponenten wurde ein Maßnahmenkatalog an die eingesetzte Materialflusstechnik erarbeitet. Aufgrund der nicht planbaren Turbulenzen ist es aber schwierig bis ausgeschlossen, eine konkrete Bestimmung in Form von einer quantitativen Bewertungszahl, analog zu den Flexibilitätskriterien, zu geben. Um dennoch eine Einteilung und Bewertung von einzelnen Materialflusssystemen in Bezug auf die Wandelbarkeit vornehmen zu können, wird der Weg einer Potenzialbetrachtung beschritten. Ziel dieses Ansatzes ist es, dem Planer ein Hilfsmittel zur Hand zu geben, das den Aufwand zur Anpassung der einzelnen Flexibilitätskriterien Fördergut-, Durchsatz- und Layoutflexibilität an die neuen Anforderungen bestimmt und somit das Wandelbarkeitspotenzial eines Systems abschätzt.

Die Bestimmung und Abschätzung des Wandelbarkeitspotenzials erfolgt innerhalb von vier Schritten, die in Abbildung 2 dargestellt sind. In einem ersten Schritt (Nummer 1) wird ein konkreter Maßnahmenkatalog für wandelbare Materialflusssysteme festgelegt, mit dem das betrachtete System auf die neuen Anforderungen reagieren kann. Diese Kriterien werden dann in direkten Bezug zu den Flexibilitätskriterien gestellt. Da diese Kriterien oftmals sich auf mehrere der drei Flexibilitätsarten Layout-, Fördergut- und Durchsatzflexibilität auswirken, wird in einem zweiten Schritt (Nummer 2) dieser Einfluss gewichtet. Die Gewichtungsskala reicht dabei von keinen Einfluss (Wert: 0) über indirekten Einfluss (Wert: 1) bis hin zu direkten Einfluss (Wert: 2).

Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen

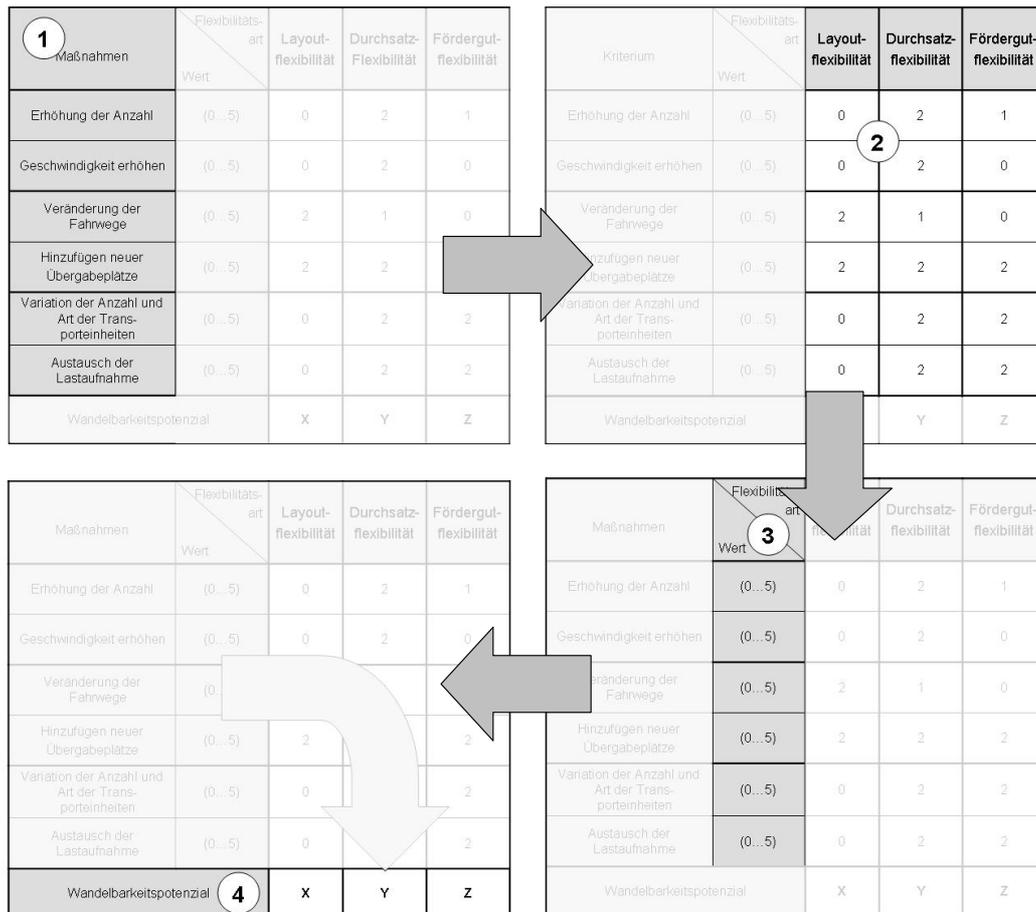


Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Potenzialabschätzung von wandelbaren Materialflusssystemen

Beispielhaft an der Materialflussfunktion „Transportieren“ sind in Tabelle 1 alle genannten Maßnahmen und deren Einfluss auf die Flexibilitätsarten zusammengefasst. Die aufgeführten Anforderungen werden dabei nach den Bestandteilen eines Transportsystems in die Bereiche Transportmittel, Transportprozess und Transporteinheit untergliedert. Der Transportprozess, also die Wahl des Transportweges hat direkten Einfluss auf die Layoutflexibilität. Auf eine Veränderung der Fördergutflexibilität hat neben der reinen Transporteinheit auch das Transportmittel bedingt Einfluss, da durch eine Erhöhung der Anzahl zusätzliche Transportmittel eingesetzt werden können, die mit anderen Lastaufnahmemitteln ausgestattet sind. Den meisten Handlungsspielraum hat man bei einer Veränderung der Durchsatzflexibilität, da alle Bereiche direkten oder indirekten Einfluss auf dieses Kriterium nehmen.

Bestandteile eines Transportsystems	Flexibilitätsart	Layoutflexibilität	Durchsatzflexibilität	Fördergutflexibilität
	Maßnahmen			
Transportmittel	Erhöhung der Anzahl	○	●	◐
	Geschwindigkeit erhöhen	○	●	○
Transportprozess	Veränderung der Fahrwege	●	◐	○
	Hinzufügen neuer Übergabepplätze	●	●	●
Transporteinheit	Variation der Anzahl und Art der Transporteinheiten	○	●	●
	Austausch der Lastaufnahme	○	●	●

○ Kein Einfluss (Wert: 0)
 ◐ Indirekter Einfluss (Wert: 1)
 ● Direkter Einfluss (Wert: 2)

Tabelle 1: Anforderungen an wandelbare Materialflusssysteme am Beispiel Transportieren mit Einfluss auf die Flexibilitätsarten

In einem dritten Schritt (Nummer 3) erfolgt die eigentliche Abschätzung des Wandelbarkeitspotenzials des betrachteten Materialflusssystemes. Auf Basis des aus Nummer 1 erarbeiteten Maßnahmenkataloges wird für die einzelnen Systeme die technische Machbarkeit abgeschätzt. Die Bewertung erfolgt anhand der Skala von Wert 0 bis zum Wert 5. Der höchste Wert bedeutet in diesem Fall, dass der Erfüllungsgrad dieses Kriteriums und die technische Machbarkeit am höchsten bewertet werden.

Der letzte, vierte Schritt (Nummer 4) stellt die Berechnung der Potenzialwerte der einzelnen Flexibilitätskriterien dar. Dabei werden die einzelnen Werte (aus Nummer 3) des Maßnahmenkataloges mit den Einflusswerten (aus Nummer 2) multipliziert und für das jeweilige Flexibilitätskriterium aufsummiert. Für jedes Flexibilitätskriterium ergibt sich daraus ein Wert, der das jeweilige Potenzial zur Erhöhung der Flexibilität angibt. Somit besteht nunmehr die Möglichkeit, einzelne Materialflusssysteme hinsichtlich der Potenzialerhöhung der einzelnen Flexibilitätskriterien miteinander zu vergleichen und somit als weitere Entscheidungsgrundlage heranzuziehen. Dabei ist es Aufgabe des Planers anhand von Erfahrungswerten abzuschätzen, welchen Maß an Potenzial zur Erhöhung der Flexibilität gefordert ist.

Methodik zur Gestaltung wandelbarer Materialflusssysteme

Auf Basis der beschriebenen Anforderungen an wandelbare Materialflusssysteme galt es in der weiteren Vorgehensweise eine geeignete Methodik für die Gestaltung von zukünftigen Systemen zu erarbeiten. Ein Ansatzpunkt stellte dabei die Methode der funktionsorientierten Modularisierung dar (vgl. Abbildung 3). Grundidee war dabei, das Materialflusssystem aus einzelnen Technikmodulen zusammenzusetzen, um somit die geforderte Mindestflexibilität zu erreichen. Falls eine Erhöhung der Flexibilität erforderlich ist, können einzelne Module ausgetauscht und somit gezielt die einzelnen Flexibilitätsarten verändert werden.

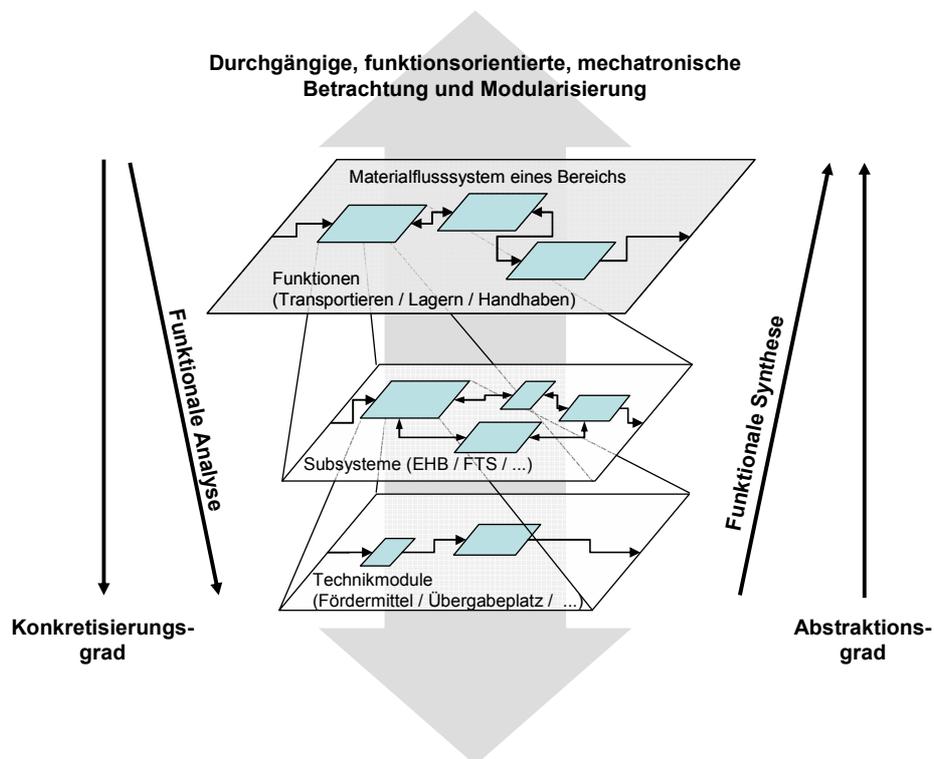


Abbildung 3: Funktionsorientierte Modularisierung eines Materialflusssystems

Aufbauend auf die Grundlagen der allgemeinen Systemtheorie wird als erster Modularisierungsschritt eine hierarchische Strukturierung der Fabrikstrukturen und –prozesse gewählt. Für die so entstandenen Bereiche und Prozesse werden die dort benötigten Materialflussfunktionen, die in die Funktionen „Transportieren“, „Lagern“ und „Handhaben“ untergliedert sind, ausgewählt und die lokalen Kennwerte für diese Funktionen bestimmt. Auf Basis der in den lokalen Kennwerten hinterlegten Kennzahlen und Flexibilitätskriterien werden zur Erfüllung der geforderten Materialflussfunktionen geeignete Subsysteme ausgewählt. Dabei kann eine Funktion durch mehrere verschiedenartige Subsysteme erfüllt werden. Nach der Auswahl geeigneter

Subsysteme können diese auf Basis der lokalen Kennwerte aus einzelnen Technikmodulen zusammengebaut werden. Die Strukturierung in Technikmodulen erfolgt nach der Methode der funktionsorientierten Modularisierung. In Abbildung 4 sind am Beispiel der Materialflussfunktion „Transportieren“ die einzelnen Technikmodule dargestellt. Mit dem erarbeiteten Modularisierungsansatz bestehen zwei unterschiedliche Möglichkeiten, das Flexibilitätspotenzial anzupassen. Als erste Möglichkeit kann das eingesetzte Subsystem durch systemeigene Technikmodule erweitert und an die neuen Flexibilitätsanforderungen angepasst werden. Ist dies aus technischer Sicht nicht mehr möglich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll, kann zusätzlich neben dem ursprünglichen Subsystem ein zusätzliches systemfremdes Subsystem die Flexibilität erhöhen. In beiden Fällen kann somit gezielt eine Anpassung drei Flexibilitätskriterien erfolgen.

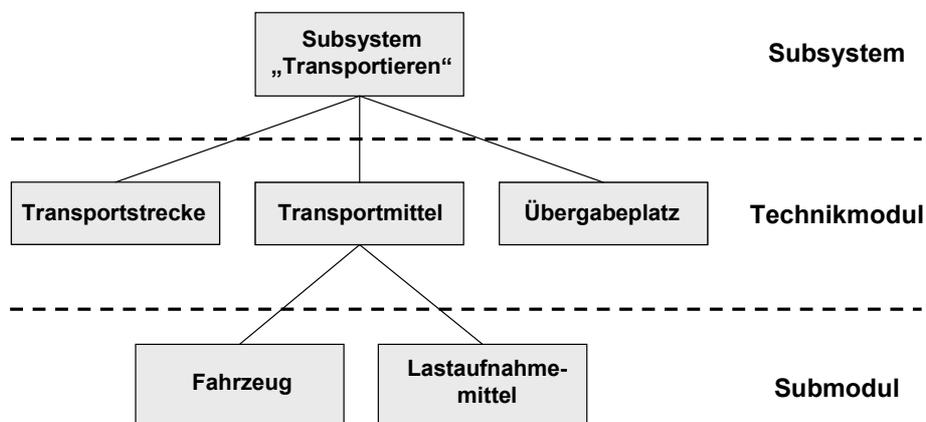


Abbildung 4: Technikmodule für die Funktion „Transportieren“

Auf Basis der erarbeiteten Modularisierungsmethodik galt es für die Technikmodule eine einheitliche Beschreibung zu entwickeln, die sowohl für den Planer eine Unterstützung darstellt als auch zur Steuerung der Materialflusssysteme eingesetzt werden kann. Schwerpunkt der Beschreibung bildete dabei die Standardisierung der Schnittstellenbeschreibung, die sich aus einer mechanischen, elektrischen und einer steuerungstechnischen Komponente zusammensetzt. Mit dieser entwickelten Methodik zur Beschreibung der einzelnen Technikmodule existiert für jedes Technikmodul eine einheitliche, eindeutige Datenbasis, die Voraussetzung für einen durchgängigen, ortsübergreifenden Einsatz ist und in der alle innerhalb eines Lebenszyklus eines Technikmoduls notwendigen Daten gespeichert werden. Aufbauend auf die Standardisierung der Modulbeschreibung, die alle wesentlichen Daten für die Planung und Steuerung enthält, wurde anschließend eine Datensprache ausgewählt, die sowohl der Planer als auch die Steuerung lesen kann. Mit Hilfe der Datensprache

XML, die diese Anforderungen erfüllt, ist es möglich, die Informationen in der Technikmodul- und Subsystembeschreibung so zu kodieren, dass eine hierarchische Struktur mit Überpunkten und Elementen zur Verfügung steht, was der Übersichtlichkeit und Datentransparenz dient.

Fazit

Mit dem Forschungsprojekt „Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen“ wurde eine Methodik zur Bewertung und Gestaltung wandelbarer Materialflusssysteme auf Basis einer modularisierten Struktur erarbeitet. Die Modularisierung wurde überwiegend am Beispiel der Materialflussfunktion „Transportieren“ durchgeführt. Die Festlegung dieser Vorgehensweise wurde allgemein gehalten, so dass diese auf die anderen Materialflussfunktionen, insbesondere auf die Funktionen „Lagern“ und „Handhaben“, übertragbar sind. Somit kann damit ein kompletter Baukasten erstellt werden, der alle Module, die für die Planung von Materialflusssystemen erforderlich sind, enthält. Um diesen Baukasten für den Planer nutzbar zu machen, kann in einem nächsten Schritt eine Datenbank implementiert werden, in der alle zur Verfügung stehenden Technikmodule hinterlegt sind.

Bei der Erstellung der standardisierten Modulbeschreibung wurden hauptsächlich diejenigen Daten abgebildet, die für die Planung und die Steuerung von Materialflusssystemen relevant sind. Ziel ist es jedoch, die Modulbeschreibungen auszubauen, so dass alle für den Lebenszyklus eines Technikmoduls benötigten Daten vorliegen. Zusätzliche Informationen können z.B. Daten über die Wartung, über die Entsorgung bzw. Recycling des Moduls darstellen. Darüber hinaus sollen Daten vorliegen, die für die visuelle Darstellung in einem VR-Modell oder für eine Ablaufsimulation benötigt werden. Für die Beschreibung eines Technikmoduls soll nur noch ein einziger Datensatz zur Verfügung stehen und somit eine redundante Datenhaltung vermieden werden. Idealerweise sollten Informationen direkt auf dem Modul gespeichert werden. Moderne Ident-Technologien, wie es z.B. der Transponder darstellt, wurden in den letzten Jahren massiv weiterentwickelt und könnten mit ihrer Fähigkeit, größere Datenmengen zu speichern, als Informationsträger für die Modulbeschreibungen dienen. Werden alle für die Planung und den Betrieb benötigten Daten in einer einzigen Modulbeschreibung hinterlegt, sind die Voraussetzungen für das angestrebte Ziel einer digitalen Fabrikplanung geschaffen.

Dieses Forschungsprojekt (Modulare Materialflusssysteme AiF-Vorhaben-Nr. 14021 N wurde im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. durchgeführt und aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.