

## 3.1 Die vernetzte Härterei – Die Herausforderung an die Härtereianlage in der Welt von Industrie 4.0

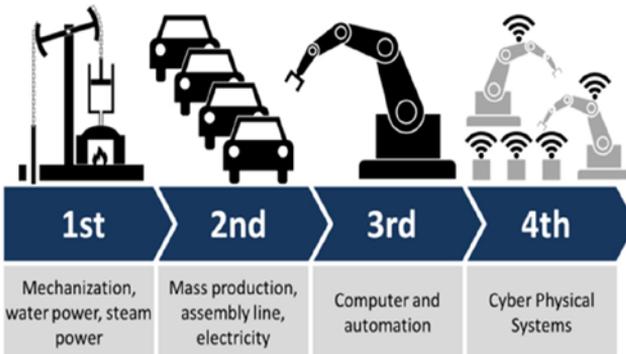
Gerald Hiller

### 3.1.1 Die nächste industrielle Revolution

Die industrielle Welt (**Bild 1**) steht vor einem weiteren, tiefgreifenden Wandel. Mit IoT (Internet of Things) wird es möglich werden, dass sich die einzelnen Fertigungsschritte untereinander vernetzen. Der Materialtransport wird über Transporteinrichtung realisiert, die auch vernetzt sind und die das Produkt automatisch zu seinem nächsten Fertigungsschritt bringen. Diese kleinen, intelligenten Module stellen die Wärmebehandlungsindustrie vor neue Herausforderungen: höhere Variantenvielfalt, kleinere Stückzahlen pro Variante, flexibel und kostengünstig produzieren. Die Lagerhaltung von Fertigprodukten, die die gesamte Wertschöpfung beinhaltet, wird aus Kostengründen reduziert. Die Fertigung startet, sobald der Kunde über das Internet sein Produkt konfiguriert und bestellt hat. Der Auftrag wird direkt in die Produktion transferiert und die Fertigung startet vollautomatisch. Rohteile werden aus dem Lager geholt und zielgerichtet von Fertigungsschritt zu Fertigungsschritt gefahren. Jeder Prozessschritt wird dokumentiert und kann dem einzelnen Bauteil zugeordnet werden. Bei einem Ausfall der gesamten Baugruppe im Betrieb, kann eine lückenlose Rückverfolgbarkeit gewährleistet werden.

#### *Re-Shoring – Der neue Trend?*

Anfang der 2000er-Jahre waren Firmen in Deutschland gezwungen, immer günstiger zu produzieren. Ein Ausweichen in Billiglohnländer, meistens China, war unvermeidlich. Wegen der günstigen Löhne konnten dort Massenprodukte kostengünstig hergestellt und in großen Containern mit Schiffen nach Europa transportiert werden. Dies hatte auch zur Folge, dass die chinesischen Löhne in den folgenden Jahren um jährlich 10 % stiegen, also die Arbeit verteuert wurde. Dieser Trend ist auch ein Wegbereiter für den Erfolg der Industrie 4.0. Ein weiterer Wegbereiter sind die Kunden, deren Ansprüche sich geändert haben. Firmen wie Märklin, Gigaset, Rowenta, Adidas und BSH sind in den letzten wenigen Jahren nach Deutschland zurückgekehrt. Bekleidungsfirmen wie Engelbert & Strauss bauen neue Fertigungsstandorte in Deutschland, um den Kunden in Zukunft individuelle Produkte ohne lange Logistikwege anbieten zu können.



„Dieses Foto“ von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC](#)

**Bild 1:** Die Stufen der Industrie

Thomas Bauernhansl, der als Professor für Produktionstechnik und Fabrikbetrieb an der Universität Stuttgart lehrt und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automation (IPA) leitet, sieht darin einen tiefgreifenden Paradigmenwechsel: „Wir gehen weg von einer eher angebotsorientierten Produktion hin zu einer nachfrageorientierten.“ Dabei legt der Kunde in vielen Fällen künftig selbst fest, in welcher Ausfertigung er ein Produkt haben möchte – der Hersteller richtet sich danach und passt seine Prozesse entsprechend an.

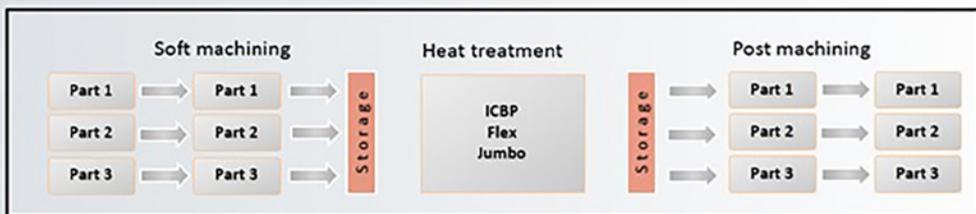
Dieser Artikel beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Auswirkung von Industrie 4.0 auf die Härterei-Anlagentechnik und deren Automation. Sicher gibt es noch vielfältige Themen wie vorbeugende Wartung, Erkennen von frühzeitigen Bauteilausfall etc., die einen eigenen Artikel wert sind.

**Die Anforderung an die Anlagentechnik**

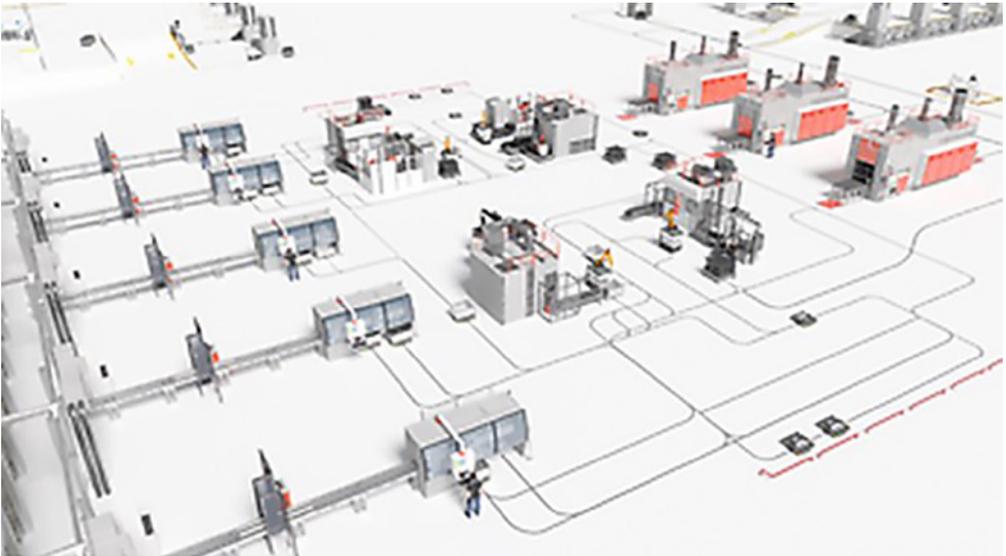
Die Anforderungen der Endkunden werden immer komplexer, flexibler und individueller. Massenprodukte, die in großen Stückzahlen zu niedrigen Kosten produziert werden, werden immer weniger gefragt. Der Mensch als Individuum möchte auch ein individuelles Produkt, das zu seinen Bedürfnissen und (technischen) Anforderungen passt und schnell verfügbar ist. Durch das veränderte Verbraucherverhalten werden mehr Produkte online konfigurier- und bestellbar sein (**Bild 2**). Diese Anforderungen sind für die Industrie die Herausforderung der nahen Zukunft: Industrie 4.0. Die Vernetzung der einzelnen Arbeitsschritte, das intelligente Bauteil, automatischer Transport zwischen den Fertigungszellen, die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter und die vorausschauende Wartung.

Das heißt für die Härterei, dass sie noch näher mit den Maschinen und Anlagen zusammenrücken und verschiedene Bauteile aus unterschiedlichen Stählen direkt, schnell, flexibel und in kleinen Einheiten wärmebehandeln muss. Der Begriff „integrierte Härterei“ ist nicht neu, aber durch Industrie 4.0 bekommt dieser Begriff eine völlig neue Dimension (**Bild 3**).

**Bild 2:** bm-online



**Bild 3:** Integrierte Fertigung



**Bild 4:** SEW – Flexible Produktion

Industrie 4.0 löst die Starrheit der Fertigungskette auf. Die flexible Fertigung erhält Einzug. Die Härteanlage muss direkt das Bauteil produzieren, das vor der Anlage angeliefert wurde. Ein Puffer ist nicht vorgesehen (**Bild 4**).

### ***Was bedeutet Industrie 4.0 für eine Wärmebehandlungsanlage?***

Das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE definiert die Anforderungen von Industrie 4.0 an die Systeme folgendermaßen:

„Eine Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme« (Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0).“

Wenn die Definition des Fraunhofer Instituts auf eine Härteanlage angewendet wird, wäre die Wärmebehandlungsanlage 4.0 ausgestattet mit:

- Automatischer Be-/ und Entladung
- Systemen zur Bauteilerkennung
- Rezepte werden automatisch geladen/gelesen, je nach Bauteil
- Kleinen Chargengröße mit hoher Variantenvielfalt
- Kleinen Anlageneinheiten, verteilt und vernetzt in der Fertigung
- Wärmebehandlung unterschiedlicher Einsatz- oder Vergütungsstähle in kleinen Stückzahlen
- Kurzen Prozesszeiten
- Hoher CHD-Gleichmäßigkeit
- Selbstlernenden/optimierenden Prozesse

- Geringem Verzug
- Umweltfreundlich
- In die Fertigungskette integrierbar
- Erkennt eigenen Wartungs-/reparaturbedarf
- Geringen Verbräuchen, bzw. niedrigen Betriebskosten.

Zusammengefasst ist eine Vakuumanlage mit kleinen Chargenabmessungen, mehreren unabhängigen Heizzellen, Gasabschreckung, kleiner Aufstellfläche und hochautomatisiert eine Lösung, die nahezu alle Anforderung trifft.

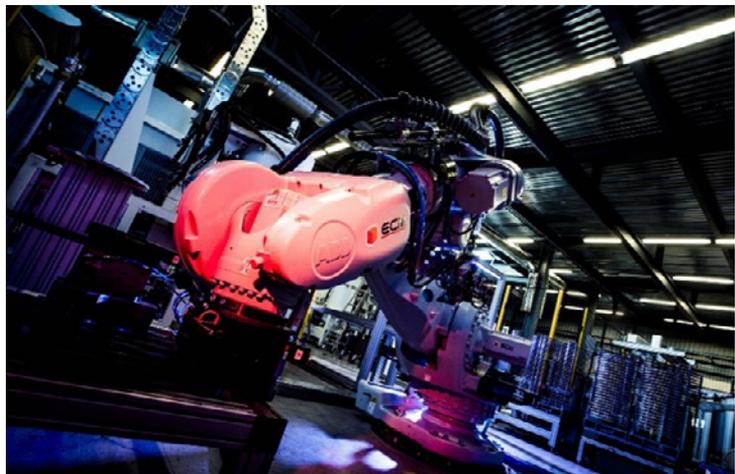
### 3.1.2 Automation in der Härterei

In den letzten 10-15 Jahren ist es ein unbestrittener Trend, dass der Investitionswert an einer Wärmebehandlungsanlage sich durch die Automation ständig erhöht hat. Während es Anfang der 2000er-Jahre einen automatischen Transportwagen, der Chargen zu verschiedenen Station transportiert hat, gab, sind heute weitaus komplexere Automationslösungen gefragt. Um die Anforderungen von Industrie 4.0 zu treffen, sind weitaus intelligentere System notwendig. Diesen Anforderungen und Herausforderungen hat sich die ECM Technologies gestellt, indem sie ihre Abteilung Robotics in einem eigenständigen Geschäftszweig ausgegliedert hat. Die ECM Robotics ist somit in die Lage versetzt worden, eigenständige Automationslösungen anbieten zu können.

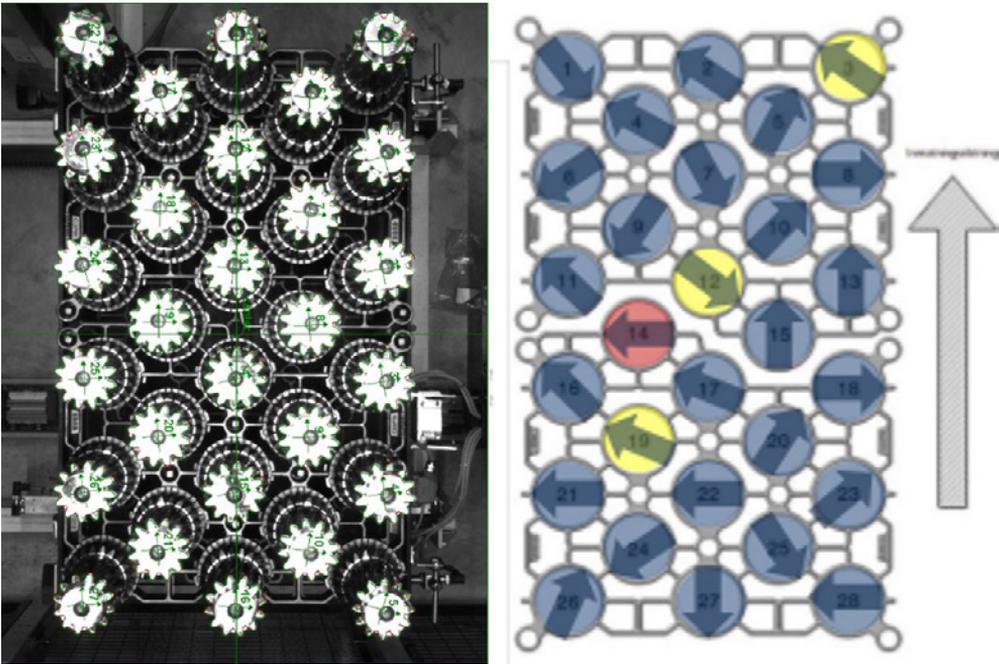
3

#### **Chargenbeladung mit Roboter**

Die ECM Robotics kann auf eine umfangreiche Erfahrung aus der Mikroelektronik-Industrie zurückgreifen (**Bild 5**). Hier sind Roboter- und Automationslösungen als notwendiger Teil der Produktionskette notwendig. Verschiedene Projekte in der Wärmebehandlung sind bereits erfolgreich abgeschlossen worden, z. B. Schüttgut-Beladung über Gewichtserkennung, Be- und Entladen von LKW-Wellen in Chargiergestellen und in Richtmaschinen. Die Visualisierungssysteme haben heutzutage einen Standard erreicht, dass Zahnräder anhand des Durchmessers oder anhand der Anzahl der Zähne identifiziert und sortiert werden können.



**Bild 5:** Roboter Beladung ICBP Nano



**Bild 6:** Visio-System – Wellen-Erkennung

### ***Bauteilerkennung und Analyse von Richtwerten***

Wie bereits erwähnt, sind visuelle Erkennungssysteme auf einem hohen technischen Standard, sodass z. B. Wellen aufgrund ihrer Geometrie erkannt werden. Interessant wird es, wenn noch zusätzlich die Lage bzw. Ausrichtung der Welle innerhalb einer Charge erkannt und dokumentiert wird. In diesem beschriebenen Projekt hat die Firma ECM Technologies Wellen aus einem LKW-Getriebe auf einer ICBP Jumbo niederdruckaufgekohlt, gefolgt von einer Gasabschreckung. Die ICBP Jumbo wurde mit einer Roboterzelle inklusive einer Richtpresse erweitert. Projektziel war die Dokumentation aller Wellen mit Lage, Ausrichtung und Richtergebnissen. Mit einer dazu gelieferten Analysesoftware lassen sich genaue Auswertungen über die Richtwerte der Wellen sowie deren Lage innerhalb der Charge durchführen (**Bild 6**).



**Bild 7:** Laser markiertes Zahnrad

### **Lasermarkierung und Rückverfolgbarkeit**

Ein weitere, wesentliche Anforderung der Fraunhofer Definition sind „sich situativ selbst steuernde [...] Produktionsressource[n]“. Damit sich eine Produktionsressource selbst steuern kann, muss diese erst einmal erkennen, was, wann und wie produziert (gehärtet) werden muss. Das Bauteil muss Intelligenz bzw. eine Seriennummer angehaftet bekommen, damit die Arbeitsstation das Bauteil und somit den anstehenden Arbeitsschritt identifizieren kann. Mithilfe einer Lasermarkierung (**Bild 7**) kann dieses realisiert werden. Sobald ein Bauteil seine endgültige (äußere) Form erhalten hat, kann ein Laser einen QR-Code eingravieren und über eine Datenbank kann jeder Arbeitsschritt dokumentiert werden sowie eine Erkennung stattfinden. Laufkarten wären überflüssig und eine Rückverfolgbarkeit, selbst bei einem Bauteilausfall im Betrieb, ist gewährleistet.

### **Härteprüfung – Inline**

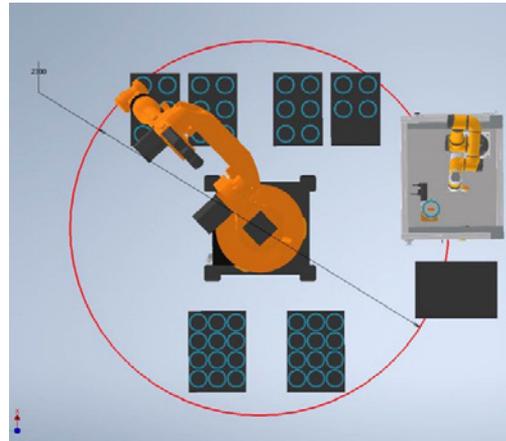
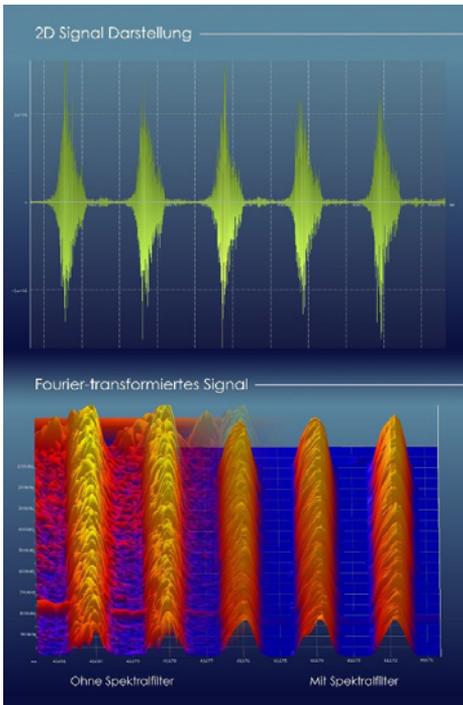
Text und Bilder bereitgestellt von der Firma Qaas GmbH

Im Zuge von Industrie 4.0 werden verstärkt Sensoren zur Unterstützung und Verbesserung der Produktionskapazitäten eingesetzt. Eine weitreichende Entwicklung der letzten Jahre stellt die Anwendung magnetinduktiver Verfahren dar. Damit lässt sich der Erfolg der Wärmebehandlung inline beurteilen. QASS  $\mu$  magnetic ist ein Messverfahren zur berührungslosen Härtemessung, der Detektion von Härteanomalien sowie von Härteverläufen, Schleifbrandprüfungen und der Detektion von Wärmebehandlungsfehlern bei ferromagnetischen Materialien (**Bild 8**). Dazu wird das Prinzip des magnetischen Barkhausen-Rauschens benutzt. Ein magnetisches Wechselfeld interagiert mit den magnetisierbaren Bestandteilen von Stahl (ausgenommen Austenite bei Raumtemperatur)



**Kombinierbar mit Roboter  
und Industrie 4.0**





**Bild 9:** Automatische Inline-Härteprüfung

**Bild 8:** Quelle: Qaas GmbH

und misst die zeitabhängige Magnetisierbarkeit bis zur Sättigung des Materials. Die Magnetisierbarkeit ist dabei vorwiegend abhängig vom Kohlenstoffgehalt, genauer vom Anteil des Kohlenstoffs, der für die Erzeugung eines Härtingsgefüges in das Gitter eingebaut wird. Je geringer der Kohlenstoffgehalt ist, desto leichter ist die Magnetisierbarkeit des Stahls. In zweiter Instanz behindern auch Karbide, kleine Korngrößen und Eigenspannungen die Magnetisierung eines Materials.

Das Verfahren ist seit Jahren bekannt und wird zur Beurteilung der Härte, Festigkeit und Eigenspannungszustand angewendet. Mit den Weiterentwicklungen in der Signalanalyse konnte der Nachteil der Beschränkung auf Laboranalysen beseitigt werden. Heutzutage werden Signaltransformationen (z. B. FFT) der Barkhausen-Rauschen-Signale angewendet, um eine bessere Nutzsignalinformation zu erhalten. Damit können auch elektronische Filter zur Beseitigung von Störsignalanteilen in industrieller Umgebung benutzt werden. Skriptfähige Programmieransätze (Java, Python) erlauben es zusätzlich, eine angepasste Signalanalyse auf den jeweiligen Anwendungsfall konzipieren. Abgerundet werden solche Systeme durch ein umfangreiches Schnittstellenkonzept zur Weiterleitung von Daten und Rückverfolgung von Teilen.

**Bild 9** zeigt das Konzept der automatischen Inline-Härteprüfung. Ein (großer) Roboter ist für das Be-/ Entladen von Bauteile auf Chargiergestellen zuständig, während ein kleines Modul mit einem zweiten (kleinen) Roboter die Bauteile der  $\mu$  magnetischen Härteprüfung unterzieht.

### **Der Unterschied: AGV vs. AMR**

In den wenigen letzten Jahren haben sich einige Konzepte auf dem Markt etabliert, um Waren automatisch von A nach B zu bewegen. Das „Fahrerlose Transportfahrzeug“, kurzgesagt FTF, ist im

englischen unter „AGV“ bekannt geworden. AGV steht für „Automated Guided Vehicle“. Die autonomen Vehikel transportieren Lasten, indem sie Bodenmarkierungen folgen. Ist ein Hindernis im Weg, wird dieses durch Sensoren detektiert und der AGV wartet so lange, bis sich das Hindernis entfernt hat und setzt seinen Weg dann fort. Ist die Bodenmarkierung beschädigt oder fehlerhaft, kann der AGV nicht mehr seiner Aufgabe nachkommen.

AMR steht für „Autonome Mobile Robot“, diese AMR sind mit weiteren Sensoren wie z. B. Lidar-Radaren ausgestattet. Das befähigt AMRs dazu, virtuelle „Landkarten“ der Umgebung anzulegen und sich selbständig im Raum zurecht zu finden. Es sind somit keine Bodenmarkierung notwendig und sind Hindernisse im Weg, werden diese einfach umfahren. Auch neue Orte zum Be- und Entladen lassen sich auf einfachstem Weg neu anlernen.

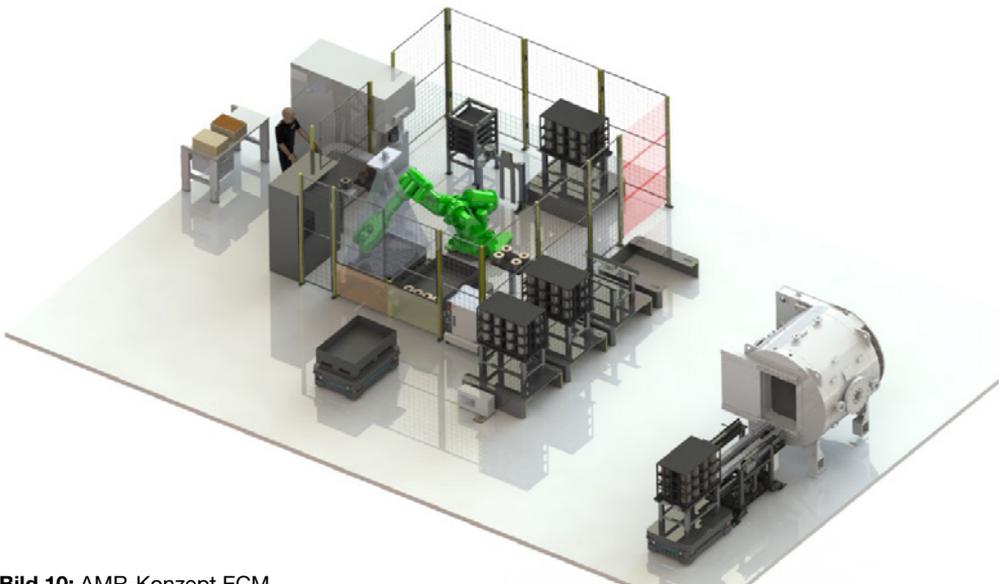
ECM Technologies setzt nur AMR ein. Diese bringen die notwendige Flexibilität, um sich in einer komplexen Umgebung zurechtzufinden.

### 3.1.3 Das ECM-Konzept – Die vernetzte Härterei

Sehen wir uns noch einmal die Definition des Fraunhofer Instituts an:

„Eine Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme[n]“

Die ECM-Wärmebehandlungsanlage bildet die „räumlich verteilte Produktionsreserve“, die mithilfe von AMR (**Bild 10**) „situativ selbst steuernd“ Material an- und abgeliefert bekommt. Der QR-Code auf dem Bauteil stellt die „wissensbasierte“ Laufkarte dar. Die Roboter erkennen die Bauteile anhand des QR-Codes und werden auf das passende Chargiergestellen geladen. Die Wärmebehandlung kann bauteilbezogen, flexibel und dokumentiert durchgeführt werden. Selbst die Rückverfolgbarkeit der Produktion kann sichergestellt werden.



**Bild 10:** AMR-Konzept ECM

Es ist hervorzuheben, dass weitere Wärmebehandlungsmodule wie Anlassöfen, Waschmaschinen und auch weitere Pufferplätze frei im Raum aufgestellt werden können. Eine starre Verbindung mit einem schienengebundenen Transport-System wäre nicht mehr notwendig. Das Layout ist weitaus flexibler und frei planbar und damit ideal für Produktionen, die beengte Platzverhältnisse aufweisen und keine große, zusammenhängende Fläche zur Verfügung haben.

### **3.1.4 Fazit**

Die Firma ECM hat mit dem neuen Geschäftszweig ECM Robotic auf die neuen Anforderung der Industrie reagiert. Aus dem Anlagenportfolio lassen sich zahlreiche kundenbasierte Lösungen für die Wärmebehandlung anbieten. Die ökonomischen und umweltfreundlichen Vakuumanlagen können den variablen Anforderungen der „nachfrageorientierten“ Produktion nachkommen. Der Einsatz von AMRs erlaubt weitere, flexiblere und komplexe Layouts, um die Produktionsressourcen miteinander zu vernetzen.

Mit der heutigen Technologie ist eine Inline-Auswertung der Bauteilqualität möglich, muss sich aber in der Produktion weiterhin etablieren. Der nächste logische Schritt wären „sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden [...] Produktionsressourcen“. Das hätte eine weitere Vernetzung der Inline-Bauteilanalyse mit dem Anpassen der Verfahrensparameter der Wärmebehandlungsanlage zur Folge. Das ist ohne Frage ein Paradigmenwechsel, dass der Mensch die (Verfahrens-)Kontrolle an die Automation abgibt und dies ist somit eine Aufgabe für die Zukunft.

ECM wird sich dieser Aufgabe in den nächsten Jahren weiter stellen, damit „sich selbst konfigurierende Prozesse“ in der Zukunft keine Utopie mehr sind.