

Exkurs: Mikrosystemtechnik und Enabler-Technologien

Seit den 1960er und 1970er Jahren hat vor allem die Mikroelektronik einen enormen Einfluss auf die Entwicklung verschiedener Technologiebranchen sowie auf den Wandel der Gesellschaft insgesamt ausgeübt. Die Herstellung von Transistoren und anderen Halbleiterelementen in großen Stückzahlen zu geringen Kosten und die hohe Integration der Bauelemente auf einzelnen Schaltkreisen (Erhöhung der Packungsdichte) ermöglichten die Herstellung leistungsfähiger Mikroprozessoren. Diese sind für den Erfolg von Computern und in der Folge auch vieler anderer Geräte wie Smartphones verantwortlich. Bis heute bestätigt sich das „Gesetz“ von Gordon Moore, wonach sich die Komplexität integrierter Schaltkreise im gleichen Zeitabstand (je nach Quelle zwischen 12-24 Monaten) verdoppelt.

Mikrosysteme erweitern den Funktionsumfang eines Mikroprozessors, der auf rein elektrischen Vorgängen basiert. Durch die zusätzliche Integration mechanischer, (bio-)chemischer oder optischer Prozesse wird die Leistungsfähigkeit der Systeme erheblich gesteigert. Je nach Funktionsumfang werden sie auch als MEMS (engl. microelectromechanical systems), MOEMS (engl. microoptoelectromechanical systems) etc. bezeichnet. Mikrosysteme unterscheiden sich von makroskopischen oder Nanosystemen durch ihre Größe von 0,1 bis 1000 Mikrometern. Sie vereinen somit verschiedenste Funktionen in einem geschlossenen System auf kleinster Fläche.¹

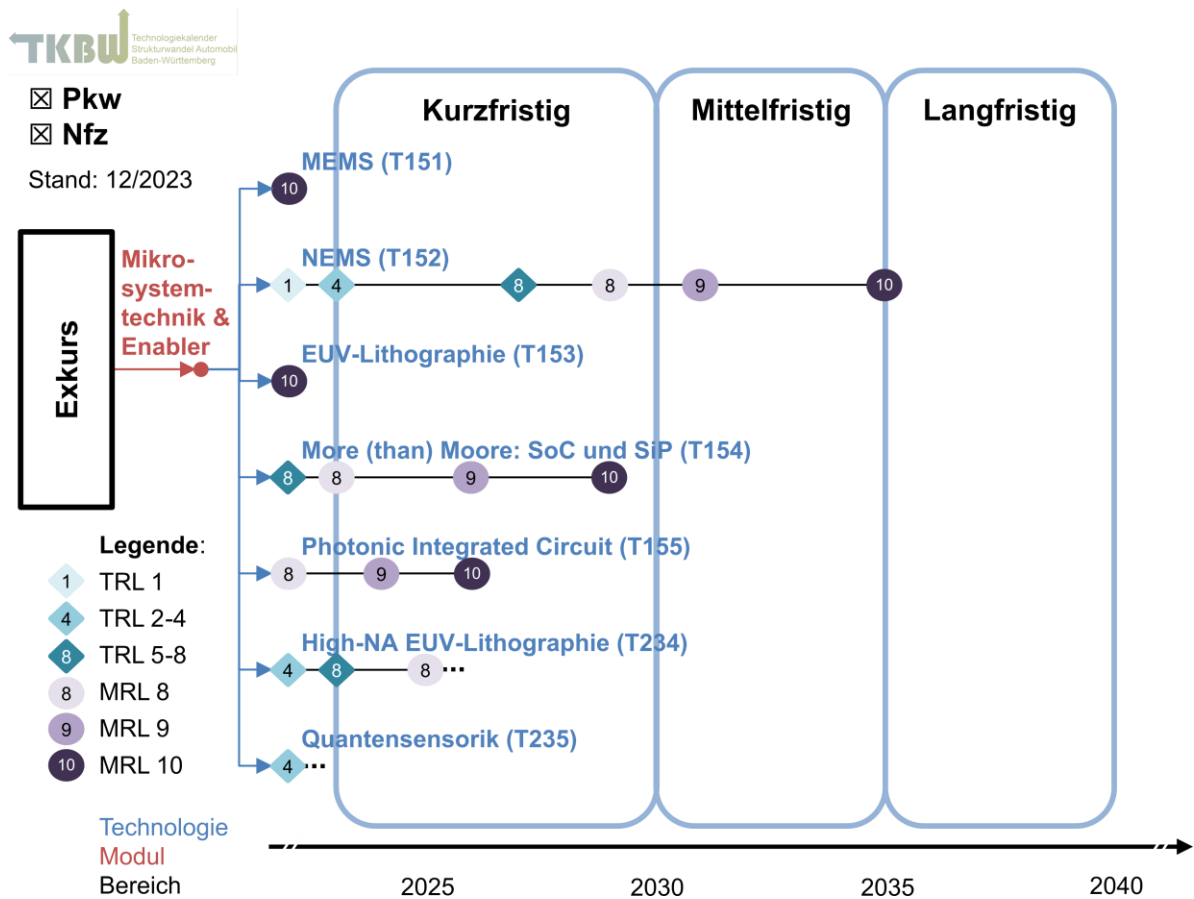


Abbildung 1: Roadmap „Mikrosystemtechnik & Enabler-Technologien“ 2023–2040 (Quelle: eigene Darstellung)

Die Roadmap zum Modul „Mikrosystemtechnik“ umfasst die Technologietrends „MEMS“, „NEMS“, „EUV-Lithographie“, „More (than) Moore“, „Photonic Integrated Circuits“, „High-NA EUV-Lithographie“ und „Quantensensorik“. Die meisten Technologien sind technologisch bereits weit entwickelt, zukünftig werden kurzfristig vor allem Impulse bei der industriellen Herstellung erwartet. Die MEMS-Technologie wird bereits seit langem erfolgreich in Masse produziert. Die NEMS Technologie, befindet sich hingegen noch in der

Grundlagenforschung und wird voraussichtlich erst langfristig in die automobilen Massenproduktion einziehen.

Mikrosysteme bestehen in der Regel aus einem Sensor, einem Aktor und einer Steuereinheit, integriert auf einem Halbleitersubstrat (Chip). Die Sensoren und Aktoren bilden dabei die Schnittstelle zur Umwelt, während die Recheneinheit die erfassten Daten in Befehle umwandelt. Zu Beginn wurden Mikrosysteme wie Transistoren auf dem Halbleitermaterial Silizium entwickelt. Inzwischen werden weitere Werkstoffe wie Kunststoffe erfolgreich eingesetzt. Die Herstellungsverfahren basieren ebenfalls auf denen der Mikroprozessorfertigung – vor allem der Photolithographie. Daher können viele MEMS als Massenprodukt ähnlich kostengünstig produziert werden wie Mikroprozessorchips. Die Lithographie wird in den letzten Jahren vor allem durch die EUV-Lithographie (T153) technologisch vorangetrieben. Die High-NA EUV-Lithographie (T234) ist eine Weiterentwicklung der EUV-Lithographie mit größerer numerischer Apertur.

Aufgrund ihres geringen Platzbedarfs, ihrer enormen Leistungsfähigkeit und Funktionsvielfalt sowie ihrer geringen Kosten haben Mikrosysteme nahezu alle Lebensbereiche durchdrungen: Zum Beispiel als Gurtstraffer im Auto, als Inertialsensoren (Beschleunigungs- und Drehratensensoren) in mobilen Navigationsgeräten, Smartphones oder Smartwatches, als Bildstabilisatoren in Kameras oder Smartphones, als Spiegel in optischen Projektoren zur Steuerung der Bildpunkte und anderes mehr. Am Beispiel des Automobils lässt sich der Einsatz der Mikrosystemtechnik sehr anschaulich verfolgen. Noch vor wenigen Jahrzehnten wurden nur wenige Parameter im Fahrzeug durch Sensoren überwacht. Mit der Entwicklung der Mikrosystemtechnik wuchs die Anzahl der Sensoren und die Anzahl der Aufgaben. Durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten haben die winzigen Chips die Sensorik im Fahrzeug stark verändert. Die Technologie ist die Grundlage für die Entwicklung bzw. Funktion anderer Technologien (wie z.B. MEMS LiDAR, T106) und kann daher als Schlüsseltechnologie bzw. Enabler-Technologie bezeichnet werden.

Aufgrund der hohen Diversität der Technologien in diesem Modul konnte an dieser Stelle keine aussagekräftige Patentanalyse durchgeführt werden.

¹ Stephanus Büttgenbach, *Mikrosystemtechnik*, Technik im Fokus (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016), <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49773-9>; Wolfgang Menz, „Die Mikrosystemtechnik und ihre Anwendungsgebiete“, *Spektrum der Wissenschaft*, Nr. 2 (1. Februar 1994), <https://www.spektrum.de/magazin/die-mikrosystemtechnik-und-ihre-anwendungsgebiete/821369>; Bundesministerium für Bildung und Forschung, „Mikrosystemtechnik: maximale Innovationskraft auf minimalem Raum“, 2020, <https://www.innotruck.de/themenwelt/technologien/mikrosystemtechnik/>.