



Dokumentation

Einzelfragen zur Halbleiterproduktion

Einzelfragen zur Halbleiterproduktion

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 004/22
Abschluss der Arbeit: 23. Mai 2022
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft und Verkehr, Ernährung und Landwirtschaft

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Fragestellung und Einleitung	5
2.	Kategorisierung marktüblicher Halbleiter	7
3.	Aktuelle und zukünftige Verfügbarkeit von Halbleitern für die deutsche Industrie	9
3.1.	Allgemeines	9
3.2.	Halbleiter für die Automobilindustrie	13
4.	Halbleiterproduktion	17
4.1.	Exkurs: Unternehmensstrukturen	17
4.1.1.	Integrated Device Manufacturer (IDM)	18
4.1.2.	Fabless (Chipdesign)	18
4.1.3.	Foundries	19
4.1.4.	ATP und OSAT	19
4.1.5.	SME - Semiconductor Equipment Industry	21
4.2.	Vom Design bis zum physischen Herstellungsprozess	22
4.3.	Wafer	24
4.4.	Unternehmen für Gase und Prozesschemikalien – Nasschemie	25
4.5.	Zulieferer für die Halbleiterwertschöpfungskette	26
5.	Führende Halbleiterhersteller und deren Fertigungskapazität	27
5.1.	Führende Halbleiterhersteller	27
5.1.1.	Die 20 weltweit führenden Halbleiterunternehmen 2018	27
5.1.2.	Die 15 weltweit führenden Halbleiterhersteller 2021	27
5.1.3.	Die größten Halbleitersilizium- und Waferhersteller	28
5.2.	Globale Fertigungskapazitäten	29
5.3.	Erzeugungskapazität in Europa und Deutschland	32
6.	Folgen eines Mangels an Halbleitern	38
6.1.	Automobilindustrie	39
6.2.	Solaranlagen	40
6.3.	Nationale Sicherheit	41
7.	Preisbildung von Halbleitern und Prognosen zur Preisentwicklung	43
8.	Globale Verfügbarkeit der Grundstoffe zur Herstellung von Halbleitern nach Regionen/Ländern aufgeschlüsselt und Zugriffsmöglichkeiten der deutschen Industrie darauf	44

9.	Europäische und nationale Maßnahmen im Bereich Halbleiterfertigung	48
9.1.	EU Chip Act	48
9.2.	EU-US Trade and Technology Council	49
9.3.	Weitere ausgewählte politische Maßnahmen	50
9.3.1.	Alliance on Processors and Semiconductor technologies	50
9.3.2.	Rahmenprogramm „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa“	51
9.3.3.	Important Projects of Common European Interest (IPCEI)	51
9.3.4.	Digitaler Kompass 2030	52
10.	Glossar	53

1. Fragestellung und Einleitung

Die Dokumentation befasst sich mit verschiedenen Fragen zur Halbleiterindustrie. Die der Arbeit zugrunde liegenden Einzelfragen befassen sich mit zahlreichen Aspekten, wie der Verfügbarkeit, den am Markt tätigen Akteuren, den benötigten Rohstoffen und Initiativen zur Entwicklung des Sektors. Aufgrund der umfangreichen Materie beschränkt sich diese Darstellung auf Überblicksinformationen. Wo möglich wurde ein besonderer Fokus auf den Halbleiterbedarf der Automobilindustrie gelegt, da diese in Europa derzeit den umsatzstärksten Bereich darstellt (s. Grafik weiter unten im Kapitel). Aber auch andere Industriezweige sind stark auf Halbleiter angewiesen.

Die Arbeit beruht auf öffentlich zugänglichen Quellen. Englischsprachige Texte wurden mit Unterstützung von Künstlicher Intelligenz übersetzt.

Zu den zehn Themen, die 2022 im Fokus stehen, gehören nach Angaben der Wissenschaftlichen Dienste des Europäischen Parlaments (EPRS) „die Motoren der Digitalwirtschaft“¹, die Halbleiter. Der EPRS erläutert:

„Wie die Dampfmaschine, gehören Halbleiter (häufig auch ‘integrierte Schaltkreise‘ oder ‘(Mikro-)Chips‘ genannt) zu den wenigen ‘Allzwecktechnologien‘ – umwälzende Innovationen, die ganze Epochen des technischen Fortschritts und des Wirtschaftswachstums erschlossen haben. Chips ermöglichten die Entwicklung von Informationstechnologien und die kontinuierliche Digitalisierung. Dies sind die drei Hauptkategorien von Halbleitern: **Logik-Chips** – das ‘Gehirn‘ der elektronischen Geräte, die komplexe Rechenoperationen ausführen, **Speicherchips** speichern Daten sowie **diskrete, analoge und andere Chips** (‘DAO‘), wie Spannungsregler oder optische Sensoren. Fortschritte in der Technologie für den Chipherstellungsprozess werden gewöhnlich als ‘Knoten‘ beschrieben – die Größe wird in Nanometer (nm) der Transistor-Gates (die Hauptkomponenten von Chips) angegeben. Die fortschrittlichsten Chips basieren auf den kleinsten Knoten (weniger als 10 nm) und bestehen aus mehreren Milliarden Transistoren. Gewöhnlich sind mehrere Halbleiter in der Platine eines jeden elektronischen Geräts eingebaut. Chips sind inzwischen allgegenwärtig, sie werden in einer eindrucksvollen Zahl von Produkten eingesetzt, von Computern bis zu medizinischen Geräten, 5G und Systemen künstlicher Intelligenz (KI) sowie in Geräten im Bereich Sicherheit und Verteidigung. Sie bestimmen die Eigenschaften der Produkte, in die sie eingebaut sind, auch ihre Energieeffizienz und Sicherheitsmerkmale.

Die Herstellung von Chips ist außerordentlich komplex. Sie erfolgt in drei Hauptschritten: **Chipdesign, Produktion** (in der ‘Foundry‘ oder im ‘Fab‘), die kapitalintensivste Phase (ein Halbleiterwerk (Fab) für hochmoderne Chips kostet rund 20 Milliarden US-Dollar², und **Endfertigung, Testen und Verpacken**, die arbeitsintensivste Phase. An der Lieferkette beteiligt sind außerdem **300 Produktionsmittel**, wie Wafer aus Reinstsilizium, Gase und Chemikalien, sowie über 50 Klassen von Hightech-Produktionsanlagen. Insgesamt erfolgt die Fertigung von

1 Ragonnaud, Guillaume (2022), Sicherstellung der Halbleiterversorgung in Europa, in: Bassot, Étienne, Ten issues to watch in 2022, EPRS, Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments, January 2022, S. 6f, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698852/EPRS_IDA\(2022\)698852_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698852/EPRS_IDA(2022)698852_DE.pdf).

2 <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>.

Chips in über 1 000 Schritten, und internationale Grenzen werden 70 Mal überquert³, bevor der Endkunde erreicht wird [...]. Ein großes Halbleiterunternehmen hat vielleicht 16 000 Zulieferer weltweit. Kennzeichnend für die globale Lieferkette sind die geografische Spezialisierung und die starke wechselseitige Abhängigkeit. Es gibt mehr als 50 **Staupunkte**⁴ – Schritte, bei denen eine Region einen globalen Marktanteil von mehr als 65 % hat. Durch diese Merkmale ist die Lieferkette durch Unterbrechungen gefährdet, die durch Naturkatastrophen, Unglücke, Infrastrukturausfälle, Cyberangriffe und geopolitische Spannungen hervorgerufen werden. [...] 92 % der Kapazität für die Fertigung hochmoderner Chips [sind] in Taiwan⁵ zu finden [...], während weltweit nur vier der 35 Top-Unternehmen der Halbleiterindustrie⁶ in Europa angesiedelt sind.“⁷

Halbleiterprodukte können hinsichtlich ihrer Verwendung grundsätzlich in **sechs Haupttypen** eingeteilt werden: Kommunikation, Computer, industrielle Anwendungen, Unterhaltungselektronik, Automobil und Regierung („government“)⁸. In den letztgenannten Bereich fallen auch militärische Anwendungen⁹. Der überwiegende Teil der Halbleiternachfrage wird laut der Semiconductor Industry Association (SIA)¹⁰ durch Produkte getrieben, die letztlich von den Verbrauchern gekauft werden. Die folgende Abbildung zeigt den Marktanteil dieser sechs Haupttypen am Halbleiterumsatz des Jahres 2019 zum einen weltweit und zum anderen nur für Europa. Im Tortendiagramm der **weltweiten** Anwendungsschwerpunkte sind Kommunikationselektronik (32 %) und Computer (31 %) die Umsatzgrößen. In **Europa** liegt der Schwerpunkt auf der Automobilindustrie (37 %) gefolgt von den industriellen Anwendungen (17 %):

3 <https://cset.georgetown.edu/publication/the-semiconductor-supply-chain/>.

4 <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>.

5 „Taiwan selbst verwendet als offiziellen Staatsnamen 'Republik China'/'Republic of China'“, <https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/laender/taiwan-node/taiwan/200884>.

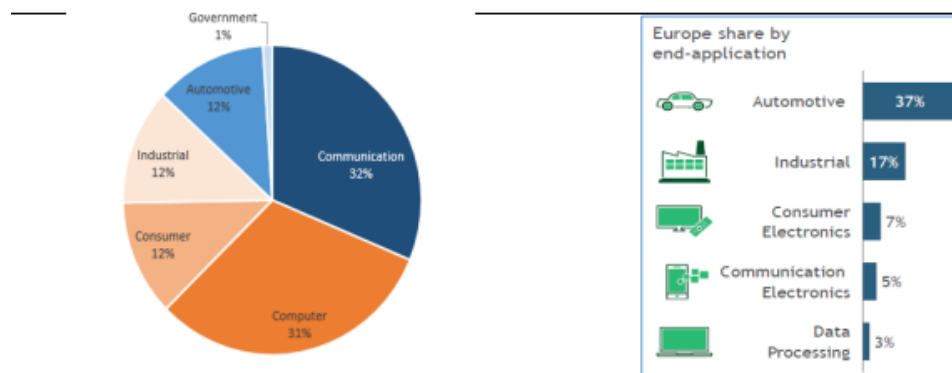
6 Bei diesen vier größten europäischen Top-Unternehmen der Halbleiterindustrie (2019) handelt es sich nach Umsatz um: ASML Holding (Niederlande), STMicroelectronics (Schweiz/Frankreich/Italien), Infineon Technologies (Deutschland), NXP Semiconductors (Niederlande). Quelle: The Weak Links in China's Drive for Semiconductors, January 2021, <https://www.institutmontaigne.org/ressources/pdfs/publications/weak-links-chinas-drive-semiconductors-note.pdf>.

7 Ragonnaud, Guillaume (2022), Sicherstellung der Halbleiterversorgung in Europa, in: Bassot, Étienne, Ten issues to watch in 2022, EPRS, Wissenschaftlicher Dienst des Europäischen Parlaments, January 2022, S. 6f, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698852/EPRS_IDA\(2022\)698852_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698852/EPRS_IDA(2022)698852_DE.pdf). Hervorhebungen durch Verfasser der Dokumentation.

8 „Defense and other government use is slightly over one percent of worldwide consumption of semiconductors“, S. 25, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>.

9 „including military applications“, S. 50, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729374/EPRS_STU\(2022\)729374_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/729374/EPRS_STU(2022)729374_EN.pdf).

10 <https://www.semiconductors.org/about/history/>.



Source: SIA and EU Study, respectively.

EU-Kommission (2021).¹¹

2. Kategorisierung marktüblicher Halbleiter

Varas et al. (2021) konstatieren, Halbleiter könnten in die folgenden – bereits eingangs vom EPRS erwähnten – **drei großen Kategorien** eingeteilt werden:

„1. Logik (42 % des Branchenumsatzes)

Es handelt sich um integrierte Schaltungen, die mit binären Codes (0 und 1) arbeiten und als grundlegende Bausteine oder "Gehirne" der Datenverarbeitung dienen: [...].

2. Speicher (26 % des Branchenumsatzes)

Hierbei handelt es sich um Halbleiter, die zum Speichern von Informationen verwendet werden, die zur Durchführung von Berechnungen erforderlich sind. Computer verarbeiten Informationen, die in ihrem Speicher gespeichert sind, der aus verschiedenen Datenspeicher- oder Speichergeräten besteht. Die beiden heute am häufigsten verwendeten Halbleiterspeicher sind Dynamic RandomAccess Memory (DRAM) und NAND-Speicher: [...].

3. Diskrete, analoge und sonstige Bauelemente (DAO) (32 % des Branchenumsatzes)

Dies sind Halbleiter, die Informationen über kontinuierliche Parameter wie Temperatur und Spannung übertragen, empfangen und umwandeln: [...].¹²

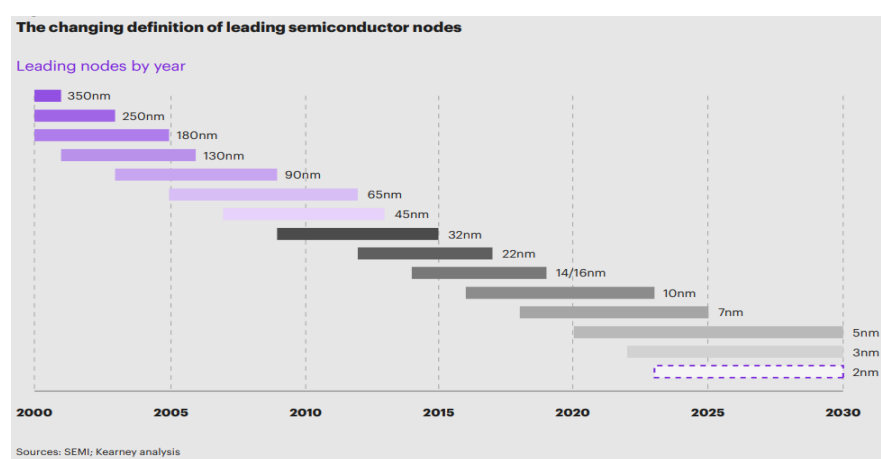
Das U.S. Department of Commerce betonte in einer Anfrage zur Halbleiterlieferkette im Januar 2022, es sei wichtig zu wissen, dass nicht alle Halbleiter gleich seien. Es gebe **viele verschiedene Arten von Halbleitern**. Einige nutzten eine gerade erst entdeckte Technologie, andere wiederum

11 European Commission (2021), COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, Strategic dependencies and capacities, S. 87, 05.05.2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52021SC0352>. Vgl. auch S. 11, <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/2021-SIA-Factbook-FINAL1.pdf>.

12 S. 9, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

nutzten eine Technologie, die schon seit vielen Jahren bekannt sei. Ein Halbleiter-**"Knoten"**¹³ („node“) bezeichne das spezifische Design des Halbleiters und die zu seiner Herstellung erforderlichen Herstellungsverfahren. Für Endprodukte wie Autos würden mehrere verschiedene, spezifische Halbleiterknoten benötigt. Das bedeute, dass es hilfreich sei, Halbleiter nicht als ein Produkt mit einer universellen Lieferkette zu betrachten, sondern als eine Ansammlung vieler verschiedener Produkte, jedes mit seiner eigenen Lieferkette, die ein mehr oder weniger starkes Missverhältnis zwischen Angebot und Nachfrage aufweisen könnten. Hinzu komme, dass verschiedene Endprodukte unterschiedlichen Zwängen unterlägen (z. B. Beschränkungen beim Chipdesign, längere Produktlebenszyklen).¹⁴

Die folgende Abbildung dokumentiert den Wandel der Definition für **fortschrittliche Halbleiterknoten**.



Kearney (2021).¹⁵

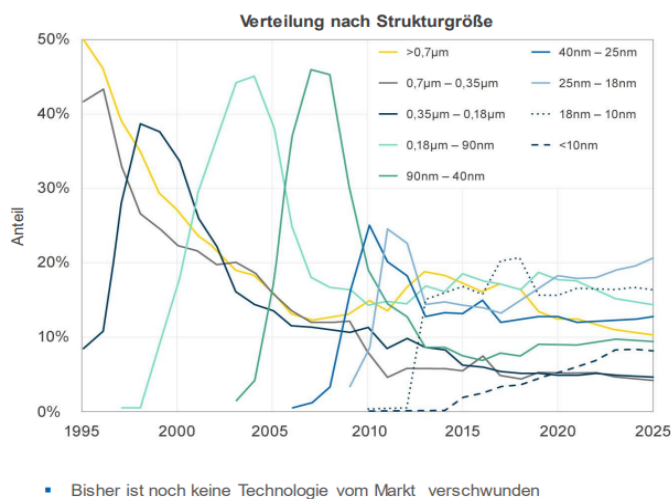
Die nächste Grafik zeigt die Größenverteilung bei Halbleitern bis in den Knotenbereich kleiner als 10 nm und Beispiele für deren praktische Anwendung. Die Darstellung ist mit dem Hinweis versehen, dass bislang **noch keine Technologie vom Markt** verschwunden sei. Knoten größer als ein Mikrometer werden für Anwendungen der Smart City, für Autos, Flugzeuge und elektrische Züge genutzt, Knoten von 65 bis 800 nm werden in Smartphones, im Bereich Smart City, in medizinischen Geräten und in Fahrzeugen verbaut. Kleinere Knoten werden ebenfalls für medizinische Geräte, für Fahrzeuge und Flugzeuge sowie für Smartphones und Laptops benötigt:

13 „nodes“ werden u. a. auch als Strukturgrößen bezeichnet.

14 U.S. Department of Commerce (2022), Results from Semiconductor Supply Chain Request for Information, January 25, 2022, <https://www.commerce.gov/news/blog/2022/01/results-semiconductor-supply-chain-request-information>.

15 S. 7, <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading-edge+semiconductor+ecosystem.pdf/f3ec1e30-b8ff-b367-417c-62cf476342ea?t=1636582354000>.

Strukturgrößen Verteilung der Kapazität nach Technologie



Quelle: ZVEI, WSTS



Beispiele für Strukturgrößen in der praktischen Anwendung



Stephan zur Verth — ZVEI Fachgruppe Halbleiter

Quelle: ZVEI (2021).¹⁶

3. Aktuelle und zukünftige Verfügbarkeit von Halbleitern für die deutsche Industrie

3.1. Allgemeines

Nach Expertenangaben können Mikrochips trotz ihrer geringen Größe nicht auf Halde produziert werden, da Halbleiter ein „Verfallsdatum“ haben. Aus diesem Grund gebe es keine endlosen Lagerbestände.¹⁷ EU-Binnenmarktkommissar Thierry Breton mahnte am 15. September 2021:

16 https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Pressebereich/2021-103_ZVEI_Digitalisierung-und-gruene-Transformation-treiben-Welt-Halbleitermarkt/ZVEI-Pressekonferenz-Halbleiter-2021.pdf. Zur Selbstdarstellung des ZVEI siehe <https://www.zvei.org/verband/ueber-uns/aufgaben-und-ziele/allgemein>.

17 <https://www.deutschlandfunk.de/lieferengpaesse-bei-halbleitern-die-macht-der-mikrochips-100.html>.

„Eine Lagerhaltung oder eine Produktion auf Vorrat in großem Stil kommt bei Mikrochips nicht nur unter finanziellen Gesichtspunkten kaum infrage, sondern insbesondere auch aus technischen, da die Herstellung durchaus komplex ist und die Halbleiter aufgrund der Eigenart der zum Teil bis zu sechs Monate in Anspruch nehmenden Produktionsprozesse sozusagen ein „Verfallsdatum“ aufweisen. Wer Chips benötigt, muss sie daher mit einiger Vorlaufzeit bestellen, damit sie auch pünktlich geliefert werden können. Größere Reservekapazitäten bei der Produktion gibt es nicht – die sogenannten Fabs oder Foundries müssen aus Gründen der Rentabilität mit durchgehend hohen Auslastungen arbeiten.“ S. 8, <https://www.giessen-friedberg.ihk.de/share/flipping-book/5259952/flippingbook.pdf>.

„The world is short of semiconductors. [...]. **The situation might last for a while.** [...]. Semiconductors are at the centre of strong geostrategic interests, and at the core of the global technological race.“¹⁸

Der EPRS (2022) erklärte, beim aktuellen Chipmangel handele es sich meistens um „veraltete“ Chips, um Chips die vor über zehn Jahren entwickelt worden seien. Der Mangel werde sich bis ins Jahr 2022, vielleicht sogar bis 2024, fortsetzen, da es für die meisten Lösungen lange Vorlaufzeiten gebe und der Aufbau einer neuen Fabrik zwei bis drei Jahre dauere.¹⁹

Im Februar 2021 erklärte die Bundesregierung, nach ihrer Kenntnis seien Lieferengpässe bei Halbleitern und Halbleiter-Chips für die Automobilindustrie primär entstanden, weil es weltweit nur eine sehr **begrenzte Zahl** von **Herstellern** gebe, welche die von der **Automobilindustrie** benötigten Halbleiter-Chips fertigten. Zudem könnten deren Produktionskapazitäten kurzfristig **nicht ausgeweitet** werden.²⁰ Zu **Prognosen** und Umsatzanalysen bei Halbleitern äußerte die Bundesregierung, laut Prognosen werde sich der weltweite Umsatz an Halbleiterchips im Jahr **2024** auf 532 Mrd. US Dollar erhöhen (rund 22 % höher als in 2019). **Asien (inkl. China)** werde **mit 62 %** der **größte Chipabnehmer** sein, gefolgt von Amerika mit rund 21 % und Europa rund 9 %. Aus Sicht der Halbleiterfertigung (ohne die sog. Foundries – Fertigungsdienstleister) sei die USA mit 50 % dominierend am Umsatz beteiligt, gefolgt von Südkorea (18 %), Japan (10 %), Europäische Union (9 %), Taiwan (6 %) und China (5 %). Ein anderes Bild ergebe sich, wenn die Foundries in der Analyse berücksichtigt würden. Mit rund 76 % kontrollierten China, Taiwan, Südkorea und Japan den Halbleiterumsatzmarkt. Die USA falle mit 11 % zurück, gefolgt von der Europäischen Union mit 8 % und Singapur mit 5 %.²¹

Das U.S. Department of Commerce (2022) äußerte, es sei eine erhebliche **Diskrepanz** bei **Angebot** und **Nachfrage** nach Halbleitern bei kritischen Branchen wie der **Medizintechnik**, der **Breitbandtechnik** und der **Automobilbranche** festgestellt worden. Sie umfassten insbesondere:

- „- **Mikrocontroller**, die in erster Linie aus älteren Logikchips bestünden, z. B. mit 40, 90, 150, 180 und 250 nm;
- **analoge Chips**, z. B. mit 40, 130, 160, 180 und 800 nm; und
- **optoelektronische Chips**, z. B. mit 65, 110 und 180 nm Knoten.“²²

18 <https://www.linkedin.com/pulse/how-european-chips-act-put-europe-back-tech-race-thierry-breton/>.

19 S. 7, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698852/EPRS_IDA\(2022\)698852_DE.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/698852/EPRS_IDA(2022)698852_DE.pdf).

20 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Industriepolitische Bedeutung der Mikroelektronik und Wirksamkeit von Fördermaßnahmen, BT-Drs. 19/27072, 25.02.2021, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/270/1927072.pdf>.

21 <https://dserver.bundestag.de/btd/19/270/1927072.pdf>.

22 U.S. Department of Commerce (2022), Results from Semiconductor Supply Chain Request for Information, January 25, 2022, <https://www.commerce.gov/news/blog/2022/01/results-semiconductor-supply-chain-request-information>.

Auf den Seiten 22 ff. des nachfolgend verlinkten Discussion Paper des ZVEI wird detailliert analysiert, welche Technologien für welche Produkte notwendig sind (4.1 Which Technologies Are Necessary for Which Products?), u. a. werden Chips kleiner als 10 nm, Microcontroller, Sensoren, Controller, Leistungshalbleiter und MEMS besprochen. Siehe hierzu:

ZVEI (2021), Discussion Paper, Semiconductor Strategy for Germany and Europe, The current situation, analysis, and goals, October 2021, Electro and Digital Industry Association, Semiconductor Industry, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/November/Halbleiterindustrie_fuer_Deutschland_und_Europa/Semiconductor-Strategy-for-Germany-and-Europe.pdf.

Ferner siehe auch:

ZVEI (2021), Mikroelektronik – Trendanalyse bis 2025. Vorstellung langfristiger Trends 2015 – 2020 – 2025, 29.06.2021, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/Juni/Mikroelektronik-Trendanalyse_bis_2025/Mikroelektronik-Trendanalyse_2021_Web.pdf.

Unter Experten wird diskutiert, welche Knotengrößen und Maßnahmen für den europäischen Markt sinnvoll sind. Im Vorschlag der EU-Kommission für das sog. EU Chip-Gesetz wird eine „Versorgung mit hochmodernen Chips“²³ und eine Verdoppelung der Kapazitäten bis 2030 gefordert. In einem Interview äußerte Dr. Horstmann von Globalfoundries im Juni 2021, die Debatte um „2 Nanometer bis 2030“ lenke von wichtigen **aktuellen** Aufgaben ab:

„Ich begrüße die Ambitionen der EU-Kommission in der Mikroelektronik. Sie hat erkannt, dass europäische Fähigkeiten und Produktionskapazitäten in diesem Bereich systemrelevant sind. Viele Jahre waren nur Forschung und Entwicklung im Fokus, [...]. Ich sehe allerdings nicht, dass die Nachfrage aus Europa nach Chipstrukturen unter 10 Nanometern eine Fab füllen kann. Halbleiterwerke sind nur dann erfolgreich, wenn sie über eine „Economy of Scale“ verfügen und mit sehr hoher Auslastung produzieren. Der **europäische Bedarf** besteht im Wesentlichen in den Bereichen **Auto, Industrie 4.0, Energiewende, 5G/6G, KI/Machine Learning**. Hier können wir europäische Positionen weiter stärken oder neu aufbauen mit Fertigungskapazität **deutlich oberhalb von 12 Nanometern**.“²⁴

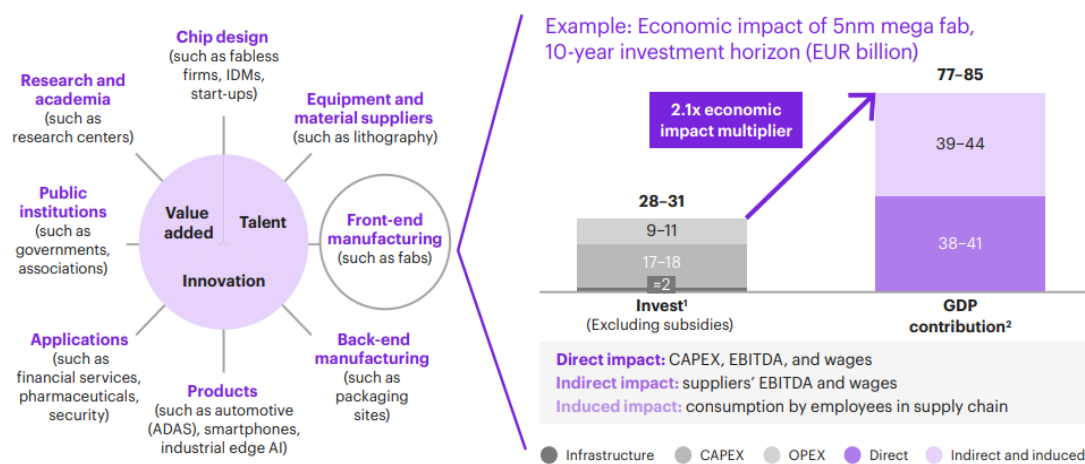
23 <https://dserver.bundestag.de/brd/2022/0059-22.pdf>.

24 Windeck, Christof (2021), Ausbaufähig, EU-Chipfertigung: Fragen an Dr. Horstmann von Globalfoundries, Die Dresdner Fab 1 des Halbleiter-Auftragsfertigers Globalfoundries ist eine der größten und modernsten in Europa. Der wachsende Standort spielt eine wichtige Rolle in den EU-Plänen für mehr heimische Chipfertigung, In: Wissen, Halbleiter-Lieferengpässe, c't 14/2021, S. 116, <https://www.heise.de/select/ct/2021/14/2114711074810561647>. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

Siehe u. a. auch: ZVEI (2022), EU Chips Act ist zukunftsweisend, muss aber technologisch breiter aufgestellt werden <https://www.zvei.org/presse-medien/pressebereich-1/zvei-eu-chips-act-ist-zukunftsweisend-muss-aber-technologisch-breiter-aufgestellt-werden>; Röhl/Rusche (2022), Der EU-Chips-Act: Eine Chance für Halbleiter aus Europa? <https://www.iwkoeln.de/studien/klaus-heiner-roehl-christian-rusche-eine-chance-fuer-halbleiter-aus-europa.html>.

Die **Kearney**-Studie (2021) betont Europas dringenden **Bedarf an Investitionen** in ein **modernes Halbleiter-Ökosystem** („Europe’s urgent need to invest in a leading-edge semiconductor ecosystem“²⁵). Der aktuelle Chipmangel zeige die Abhängigkeit der europäischen Industrie von Halbleitern. Die folgende Abbildung stellt die positiven Effekte von Investitionen in ein fortschrittliches („leading-edge“) Halbleiter-Ökosystem auf das Bruttoinlandsprodukt²⁶ vor und dies am Beispiel einer **5 nm Mega-Fab**²⁷ angesichts eines 10-Jahres-Horizonts:

Revitalizing Europe’s leading-edge technology ecosystem will generate substantial economic benefits



¹ Full investment including expenditures outside of the local economy for 35,000 wafers per month fab
² Gross value added of fab operation based on projected local expenditures; assuming no ramp-up time
 Sources: European Central Bank, European Commission, Eurostat, Organisation for Economic Co-operation and Development, Semiconductor Industry Association, S&P CapitalIQ; Kearney analysis

Kearney (2021).²⁸

IEEE²⁹/International Roadmap for Devices and Systems (IRDS)³⁰ geben zu bedenken, die Zukunft der Halbleiterindustrie sehe zwar rosig aus, aber niemand wisse mit Sicherheit, wohin sie sich

25 <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading-edge+semiconductor+ecosystem.pdf/f3ec1e30-b8ff-b367-417c-62cf476342ea?t=1636582354000>; summary <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading+semiconductor+ecosystem-2+pager.pdf/6c2b502f-72c0-7b03-45d0-8f78e9e44354?t=1636492033000>.

26 GDP – Gross domestic product.

27 Zur Bezeichnung Mega-Fab:

„Für die Anzahl an Wafern, die in der Waferproduktion monatlich hergestellt werden, gibt es die Bezeichnungen Megafab und Gigafab. Handelt es sich um Megafab, dann werden ca. 50.000 Wafer pro Monat hergestellt, bei Gigafab sind es etwa 80.000 bis 100.000 Wafer pro Monat.“ 01.02.2022, <https://www.itwissen.info/Wafer-wafer.html>.

28 S. 2, <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading+semiconductor+ecosystem-2+pager.pdf/6c2b502f-72c0-7b03-45d0-8f78e9e44354?t=1636492033000>.

29 <https://www.ieee.org/>.

30 <https://irds.ieee.org/>.

entwickeln werde. Die Richtung, in die sie sich bewege, hänge von vielen Faktoren ab. Die Autoren untersuchten einige Faktoren, darunter die folgenden:

- „the experimentation with new semiconductor materials,
- the increase in the price of rare earth metals,
- the accelerated industrial adoption of new technologies in artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and related fields.“³¹

3.2. Halbleiter für die Automobilindustrie

In Deutschland sind fehlende Chips und Halbleiterprodukte „insbesondere für die Elektroindustrie und die Automobilbranche ein Problem.“³² Die Bundesregierung äußerte, aufgrund der insgesamt begrenzten und hoch ausgelasteten Produktionskapazitäten einiger weniger Hersteller seien Lieferengpässe entstanden, so fehlten in der Automobilindustrie spezielle Elektronikkomponenten, unter anderem Mikrocontroller für Steuergeräte, z. B. für den Airbag oder Fahrassistenzsysteme.³³

Die Studie der Unternehmensberatung Roland Berger (2021) „Steering through the semiconductor crisis, A sustained structural disruption requires strategic responses by the automotive industry“³⁴ analysierte die **Halbleitersegmente** der **Automobilindustrie**, für die ein **Mangel** zu erwarten sei. Köllner (2022) fasst die Studie in diesem Punkt wie folgt zusammen:

„Der größte Mangel herrsche bei den **Chips der älteren Generationen**, die in der Autobranche hauptsächlich eingesetzt werden, [...]. Zusätzliche Fertigungskapazitäten werden jedoch vorrangig in neueren Generationen aufgebaut und brächten somit kaum Entlastung, heißt es. Nach Analysen der Roland-Berger-Experten soll die Chip-Nachfrage von 2020 bis 2022 um 17 % pro Jahr steigen. Die Produktionskapazität soll im selben Zeitraum hingegen lediglich

31 IEEE/International Roadmap for Devices and Systems (IRDS) (2020), The Future of the Semiconductor Industry, <https://irds.ieee.org/topics>.

32 Wohlrabe, Klaus (2021), Materialengpässe in der Industrie: Wer ist betroffen, und wie reagieren die Unternehmen? ifo Schnelldienst 9/2021, 74. Jahrgang, 15. September 2021. <https://www.ifo.de/publikationen/2021/zeitschrift-einzelheft/ifo-schnelldienst-092021>. Siehe auch <https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/electronics-industry-68396>. Siehe auch Lippelt, Jana et al. (2021), Kurz zum Klima: Silizium – ein Rohstoff, der es in sich hat, ifo Schnelldienst 9/2021, 74. Jahrgang, 15. September 2021. S.73, <https://www.ifo.de/publikationen/2021/zeitschrift-einzelheft/ifo-schnelldienst-092021>, dann Download starten. Ferner siehe auch S. 7f, Europäische Kommission (2022), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Ein Chip-Gesetz für Europa, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0045&from=EN>.

33 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der FDP, Knappheit bei Computerchips, Plastik und Baumaterial, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/312/1931259.pdf>.

34 Steering through the semiconductor crisis, A sustained structural disruption requires strategic responses by the automotive industry, https://content.rolandberger.com/hubfs/07_presse/20211214_RB_ART_21_037_WPs_CES_Part2_Semiconductor_Shortage.pdf.

um 6 % pro Jahr wachsen. **Logik (40-nm-Knoten und älter)**, **Analogchip** und **MEMS**^{35]} seien die Halbleitersegmente, in denen die längste **Knappheit** zu erwarten sei. Da die Halbleiterfabriken aktuell bereits durchschnittlich zu 97 % ausgelastet seien, wäre eine zügige Ausweitung der Produktion kaum möglich.“³⁶

Hahne (2021) zitiert in ihrem Beitrag „Lieferengpässe bei Halbleitern“ den Autoanalysten Ellinghorst. Demnach habe die Automobilindustrie in der Mikrochipbranche keinen vorrangigen Stellenwert, da allein Apple so viele Chips nachfrage wie die gesamte Autobranche. Sie nehme etwa 12 bis 13 Prozent der gesamten Halbleiter ab, die in der Chipindustrie produziert würden. Das heiße, die Autoindustrie spiele zwar eine Rolle in der Halbleiterindustrie, aber eine relativ kleine.³⁷

Nach Angaben des Director General der European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) vom 27. Oktober 2021, sei neben einer europäischen Produktion von hochmodernen winzigen Chips mit einer Größe von nur **2 nm** die Erhöhung der Verfügbarkeit von etwas größeren **14 - 28 nm**-Mikrochips **prioritär** für die **Automobilindustrie**, da diese in der Automobilindustrie weit verbreitet seien. Auch Mikrochips, **7 nm und kleiner**, würden bereits jetzt für einige sehr spezifische Automobilanwendungen genutzt, und Entwicklungen in der KI und fortschrittlichen Displays würden die Nachfrage nach diesen Hightech-Chips in **Zukunft** stark erhöhen.³⁸ Die multinationale Arbeitsgruppe **Sprind** schlägt als einen Beitrag zur technologischen Souveränität der EU im Bereich Halbleiter u. a. vor, eine **3-nm-Chip Foundry** zu gründen, da sie davon ausgehe, dass **autonomes Fahren** die Branche völlig verändern werde.³⁹

Die folgende Grafik veranschaulicht, welche Halbleiter**kategorien** in der Automobilindustrie verwendet werden:

35 MEMS=Micro-Electro-Mechanical-Systems.

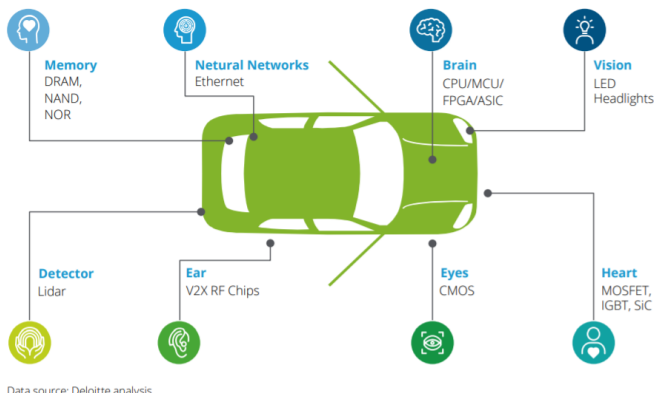
36 Köllner, Christiane (2022), Das müssen Sie zur Halbleiter-Krise wissen, 07.01.2022, <https://www.springerprofessional.de/halbleiter/halbleitertechnik/das-muessen-sie-zur-halbleiter-krise-wissen/19356172>. Hervorhebung durch Verfasser der Dokumentation.

37 Hahne, Silke (2021), Lieferengpässe bei Halbleitern, 22.02.2021, <https://www.deutschlandfunk.de/lieferengpaesse-bei-halbleitern-die-macht-der-mikrochips-100.html>.

38 <https://www.acea.auto/message-dg/chip-shortage-auto-industry-calls-for-more-eu-made-semiconductors/>.

39 Sprind (2021), A Semiconductor Strategy for the European Union, Summary of the Analysis and Proposal from the Agency for Disruptive Innovation, Multinational Working Group, 06.09.2021, <https://www.sprind.org/en/articles/a-semiconductor-strategy-for-the-european-union/>.

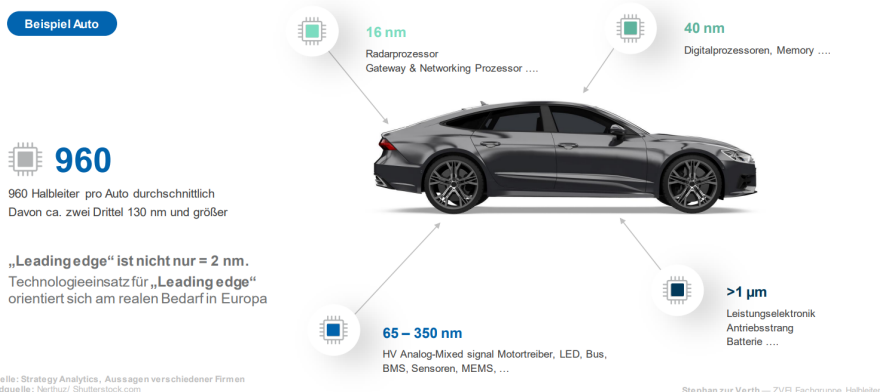
Figure 11: Major Applications of Semiconductors in Automobiles



Deloitte (2021).⁴⁰

Welche Halbleiterknotengrößen nach Angaben des ZVEI für welche Funktion beim Auto benötigt werden, zeigt die nächste Grafik. Im Durchschnitt würden **pro Auto 960 Halbleiter** verbaut, davon seien zwei Drittel **130 nm und größer**:

Strukturgrößen sind abhängig von der Funktion/Art des benötigten Halbleiter



ZVEI (2021).⁴¹

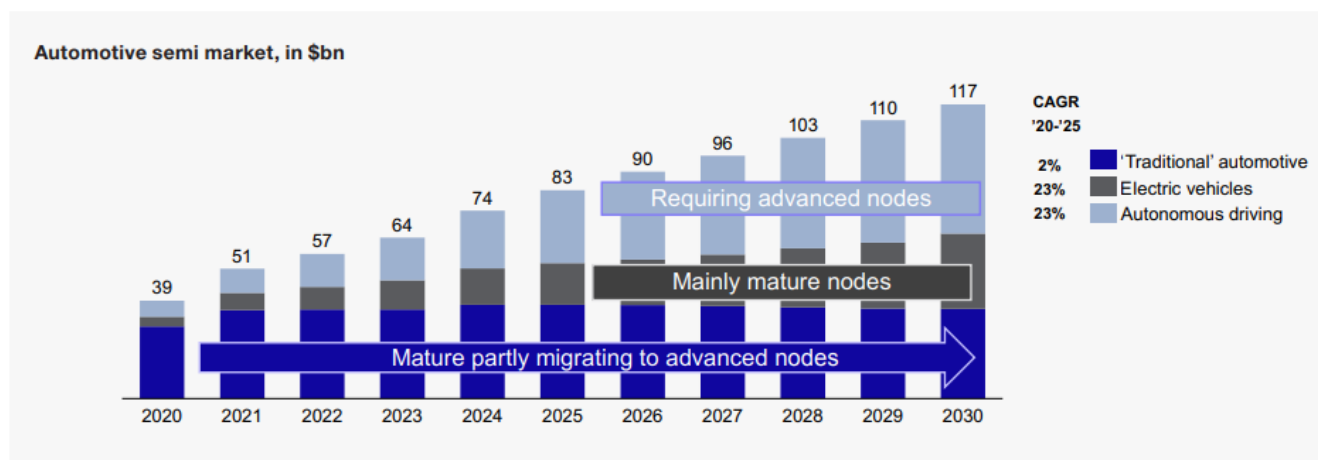
Für **Elektrofahrzeuge** werden nach Angaben von KPMG (2019) **doppelt so viele Halbleiter** wie für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor benötigt.⁴²

40 Deloitte (2021), Semiconductor Industry Series, Fighting an unprepared battle – Rethinking auto semiconductor, S. 12, <https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/consumer-business/articles/automotive-semiconductors-strategy.html>, dann weiter zum download.

41 S. 8, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Pressebereich/2021-103_ZVEI_Digitalisierung-und-gruene-Transformation-treiben-Welt-Halbleitermarkt/ZVEI-Pressekonferenz-Halbleiter-2021.pdf.

42 KPMG (2019), Automotive semiconductors: The new Ice Age, S. 9, <https://myscma.com/wp-content/uploads/2020/03/kpmg-automotive-semiconductors-new-ice-age.pdf>.

ASML⁴³ veröffentlichte im Februar 2022 die folgende Grafik zum Automobilhalbleitermarkt. Sie stellt die Entwicklung der Chipnachfrage (Knoten) für traditionelle Autos, für Elektrofahrzeuge und für autonomes Fahren für die Jahre 2020 bis 2030 in Mrd. Euro dar: Insbesondere die Nachfrage der Automobilindustrie für ausgereifte und fortschrittliche Knoten für Elektrofahrzeuge und für autonomes Fahren werde demnach in den Jahren von 2020 bis 2030 markant ansteigen:



Quelle: ASML (2022).⁴⁴

In einem Handelsblattbeitrag vom Juni 2021 wird neben anderen der Halbleiterexperte von McKinsey, Ondrej Burkacky, zitiert, der rät, die europäischen Kernbranchen wie die Autobranche mit den von ihr **aktuell** benötigten **Chips mit 20 bis 45 nm** zu unterstützen. Ferner rät er in Europa, vor allem Know-how im **Chipdesign** aufzubauen, was der gesamten europäischen Wirtschaft zugute käme, „weil inzwischen sehr viele Industrien Halbleiter benötigten und diese auch zunehmend selbst entwickelten. Zudem sollte sich die EU nach Verbündeten umsehen. Burkacky: „Es lohnt sich, **Allianzen** zu schmieden. **Japan** etwa ist in der gleichen Lage wie Europa.“⁴⁵ Auch Kleinhaus (2021) erläutert die Bedeutung des **Chipdesign**. Die Notwendigkeit, die **Chipdesignkapazitäten** für **fortschrittliche Logikchips** und damit die **Fabless**-Industrie in der EU zu stärken, sei ja bereits 2013 erkannt worden. In Europa gebe es nur noch zwei börsennotierte fabless-Unternehmen: Dialog Semiconductor (mit Hauptsitz im Vereinigten Königreich) und Nordic Semiconductors (mit Hauptsitz in Norwegen):

43 Zur Selbstdarstellung von ASML siehe <https://www.asml.com/en/company/about-asml/asml-at-a-glance>.

44 ASML (2022), EU-Chips Act, Position Paper, February 2022, S. 10, <https://www.asml.com/en/news/press-releases/2022/asml-position-paper-on-eu-chips-act>, dann weiter zum Download.

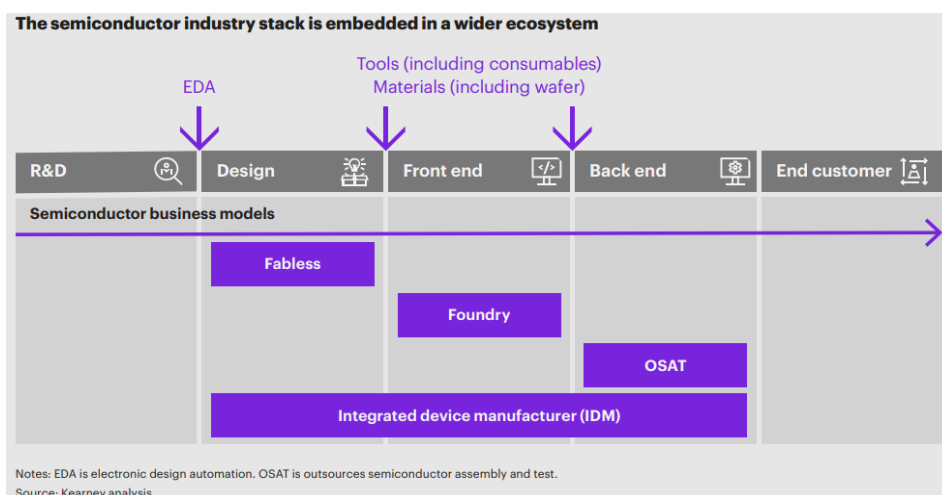
45 Hofer (2021), Politische Maßnahmen im Bereich Halbleiterfertigung in Deutschland und Europa, TECHNOLOGIE, Geldverschwendung: Warum Halbleiter-Experten eine Mega-Chipfabrik der neuesten Generation in Europa ablehnen, Die EU will Milliardenbeträge in hochmoderne Chipwerke stecken. Branchenkenner halten das für den falschen Weg, um unabhängiger von Asien zu werden, 11.06.2021, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/technologie-geldverschwendung-warum-halbleiter-experten-eine-mega-chipfabrik-der-neuesten-generation-in-europa-ablehnen/27273020.html>.

„The need to strengthen the EU’s chip design capabilities and fabless industry was identified in 2013. The European Commission, with the industry, planned to “work on reinforcing its electronics design industries and fabless semiconductor companies.” In 2018, the European Commission again planned to strengthen the EU’s chip design ecosystem through a “European Design Alliance” and “strategic design initiatives”. Instead, the EU’s fabless industry shrunk by 50 % over the last 10 years. Even worse, the European Commission’s newest 10-year plan on digitalization, **2030 Digital Compass**, focuses almost exclusively on manufacturing and lacks a clear vision for chip design investment. If the EU does not create demand for cutting-edge wafer fabrication by significantly strengthening its chip design ecosystem (from universities to start-ups and verticals), investing in cutting-edge fabs will be a futile effort.“⁴⁶

4. Halbleiterproduktion

4.1. Exkurs: Unternehmensstrukturen

Die unterschiedlichen Unternehmensstrukturen bei der Halbleiterproduktion (IDM, Fabless, Foundry) finden sich in der nächsten Grafik. Sie werden nachfolgend näher erläutert und auch die Begriffe Assembly, Test, and Packaging (ATP) bzw. Outsourced Semiconductor Assembly and Test (OSAT) und die Semiconductor Equipment Industry (SME) werden kurz dargestellt:



Kearney (2021).⁴⁷

46 S. 20f, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/eu-semiconductor-manufacturing.april_2021.pdf. Hervorhebungen durch Verfasser der Dokumentation.

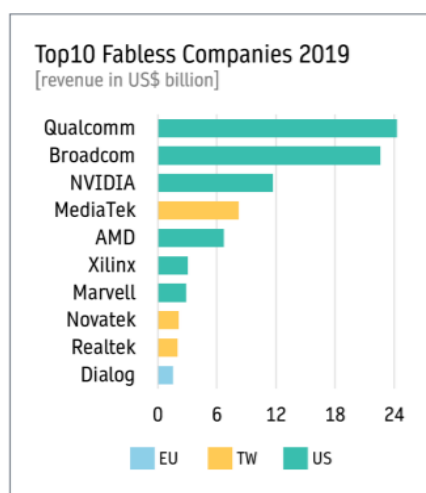
47 S. 3, <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading+edge+semiconductor+ecosystem.pdf/f3ec1e30-b8ff-b367-417c-62cf476342ea?t=1636582354000>.

4.1.1. Integrated Device Manufacturer (IDM)

Integrated Device Manufacturer (IDM) designen, produzieren und vermarkten Halbleiter selbst, wie z. B. Samsung und Intel. „Der Betrieb der Fabriken wird aufgrund der steigenden technischen Anforderungen immer kapitalintensiver.“⁴⁸ Auch bei den Halbleiterunternehmen Bosch, Infineon, NXP und STMicroelectronics handelt es sich im Wesentlichen um IDMs.⁴⁹

4.1.2. Fabless (Chipdesign)

Fabless, ohne Fabrik. „Diese Unternehmen sind nur noch in der Entwicklung tätig. Sie besitzen keine Produktionsstätten [...]. Sie lassen andere für sich fertigen.“⁵⁰ Oder sie verfügen über „begrenzte Fertigungsanlagen im eigenen Hause („fab-lite“), sodass sie ihre gesamte Fertigung oder einen Teil davon in Fertigungsbetriebe auslagern.“⁵¹ Fabless „fokussieren ihre Tätigkeiten insbesondere auf die Bereiche der Entwicklung überlegener Funktionen und Designs (z. B. der Schaltungen), nicht aber auf die Entwicklung und den Aufbau von investitionsintensiven Produktionsanlagen.“⁵² Die Top 10 der Fabless-Unternehmen des Jahres 2019 finden sich nachfolgend. Sie sind in der Reihenfolge ihres Umsatzes gelistet:



Kleinhans/Baisakova (2020).⁵³

48 Neitzel, Dörte (2019/2021), Kritische Rohstoffe, 12.09.2019, aktualisiert 01.04.2021 <https://www.technik-einkauf.de/rohstoffe/kritische-rohstoffe/das-sind-die-groessten-halbleiterhersteller-weltweit-282.html>.

49 Vgl. S. 22, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

50 Neitzel, Dörte (2019/2021), Kritische Rohstoffe, 12.09.2019, aktualisiert 01.04.2021 <https://www.technik-einkauf.de/rohstoffe/kritische-rohstoffe/das-sind-die-groessten-halbleiterhersteller-weltweit-282.html>.

51 EU Chips-Act, deutsche Übersetzung, S. 10.

52 S. 5, https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Wissen_Kompakt_Halbleiter-Krise_als_Folge_der_Covid19-Pandemie.pdf.

53 S. 12, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

4.1.3. Foundries

Reine Foundries (Fertigungsstätten) „produzieren für andere Unternehmen. Ihre Halbleiter tragen keine eigene Marke.“⁵⁴ Die Kosten zum Aufbau dieser Foundries betragen mehrere Mrd. Dollar.⁵⁵ Im Folgenden finden sich zehn **reine Foundries** gegliedert nach Umsatz:

Rank	Company name	Revenue in 2018 (USDmn)	Estimated market share	Home economy
1	Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC)	34 197	54%	TWN
2	GlobalFoundries	6 200	10%	USA ¹
3	United Microelectronics Corporation (UMC)	5 015	8%	TWN
4	Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)	3 360	5%	CHN
5	Powerchip Technology	1 402	2%	TWN
6	Tower Semiconductor (TowerJazz)	1 304	2%	ISR
7	Vanguard International Semiconductor (VIS)	959	2%	TWN
8	Hua Hong Semiconductor	930	1%	CHN
9	DB HiTek ²	608	1%	KOR
10	X-FAB Silicon Foundries	588	1%	BEL
	TOTAL	54 562	87%	
	Estimated global market size	62 872		

Notes: The total may differ slightly from the sum of individual company numbers due to rounding errors. 1) GlobalFoundries is based in the United States but fully owned by the Mubadala Investment Company, Abu Dhabi's sovereign wealth fund. 2) Formerly DongBu HiTek. Source: Companies' financial statements and websites.

OECD (2019).⁵⁶

4.1.4. ATP und OSAT

IDMs verfügen über eigene Assembly, Test, and Packaging⁵⁷–(ATP)–Kapazitäten. Werden ATP zu anderen Firmen **ausgelagert**, handelt es sich um sogenannte **OSATs** (Outsourced Semiconductor Assembly and Test). Siehe nachfolgend die ATP-Marktanteile bestimmter Länder und Regionen:

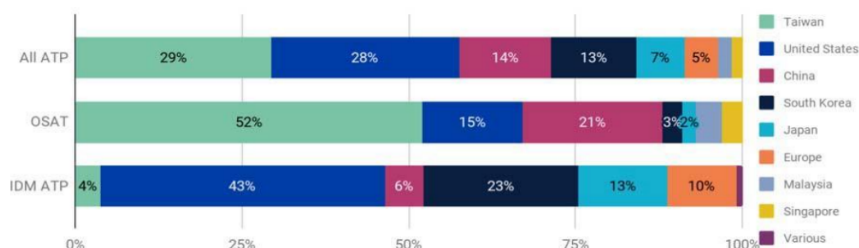
54 Neitzel, Dörte (2019/2021), Kritische Rohstoffe, 12.09.2019, aktualisiert 01.04.2021 <https://www.technik-ein-kauf.de/rohstoffe/kritische-rohstoffe/das-sind-die-groessten-halbleiterhersteller-weltweit-282.html>.

55 S. 5, https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Wissen_Kompakt_Halbleiter-Krise_als_Folge_der_Covid19-Pandemie.pdf.

56 S. 21, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

57 Endfertigung, Testen und Verpacken.

ATP Market Share (by Revenue)



Source: CSET, VLSI Research

Quelle: The White House (2021).⁵⁸

Nach OECD-Angaben aus 2019 haben mit Ausnahme der US-Firma Amkor alle großen OSAT-Firmen ihren Sitz in Ostasien.⁵⁹ Die folgende Tabelle zeigt die TOP 10 OSAT-Unternehmen nach Umsatz:

Rank	Company name	Revenue in 2018 (USDmn)	Estimated market share	Home economy
1	Advanced Semiconductor Engineering (ASE) ¹	12 123	40%	TWN
2	Amkor	4 316	14%	USA
3	Jiangsu Changjiang Electronics Technology (JCET) ²	3 606	12%	CHN
4	Powertech Technology (PTI)	2 256	8%	TWN
5	TongFu Microelectronics (TFME)	1 092	4%	CHN
6	Tianshui Huatian Technology	1 076	4%	CHN
7	UTAC	788	3%	SGP
8	King Yuan Electronics Corp. (KYEK)	690	2%	TWN
9	Chipbond	621	2%	TWN
10	ChipMOS	613	2%	TWN
	TOTAL	27 181	91%	
	Estimated global market size	30 000		

Notes: The total may differ slightly from the sum of individual company numbers due to rounding errors. 1) Includes SPIL, which ASE recently acquired. 2) Includes Singapore's STATS ChipPAC, which JCET acquired in 2015.

Source: Companies' financial statements and websites.

OECD (2019).⁶⁰

Obwohl laut OECD (2019) die Unterscheidung zwischen IDMs und dem Fabless-Foundry Modell hilfreich sei, um die Struktur der Halbleiter-Wertschöpfungskette zu verstehen, stelle sie keine strikte Trennung dar, sondern sei vielmehr ein Hinweis auf eine Vielzahl von Geschäftsmodellen. Eine Reihe von IDMs böten Foundry-Dienstleistungen für Drittanbieter von Halbleitern an. Einige IDM böten auch kundenspezifische Test- und Verpackungsdienstleistungen an und konkurrierten damit mit spezialisierten OSAT-Firmen. Gleichzeitig lagerten zahlreiche IDMs auch einen Teil ihrer eigenen Foundry aus, wie Test- und Verpackungsarbeiten. Texas Instruments beispiels-

58 S. 41, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>.

59 OECD (2019), S. 22, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&acname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

60 S. 22, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&acname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

weise stellte in seinem Jahresbericht 2017 fest, dass es "etwa 20 % seiner gesamten Wafer von externen Foundries und etwa 40 % seiner Montage-/Testdienstleistungen von Subunternehmern beziehe". Dies habe einige in der Branche dazu veranlasst, von einem aufkommenden "fab-lite"- oder "asset-lite"-IDM-Modell zu sprechen, wodurch die Unterscheidung zwischen IDMs und fabless-Unternehmen weiter verwischt werde.⁶¹

4.1.5. SME - Semiconductor Equipment Industry

Das **Institut Montaigne**⁶² (2021) erklärt, die von den Foundries benötigten hochspezialisierte Anlagen für die Herstellung der Halbleiter würden von der **Halbleiterausstattungsindustrie** (Semiconductor Equipment Industry - SME) ausgestattet. Dominiert werde der Markt von drei amerikanischen Unternehmen – Applied Materials, Lam Research und KLA-Tencor – und dem niederländischen Unternehmen ASML. Eine einzige ASML-Maschine koste etwa 250 Mio US-Dollar. Ihre einzigen Nutzer seien heute Samsung und TSMC.⁶³ Laut **SIA** hätten bei den Anlagen für die Halbleiterherstellung US-Firmen in fünf der wichtigsten Kategorien (Abscheidungsanlagen, Trocken-/Nass-Ätz- und Reinigungsanlagen, Dotieranlagen, Prozesskontrolle und Prüfgeräte) zusammen einen Anteil von mehr als 50 % am Weltmarkt. Japan habe ebenfalls einen Anteil von über 90 % am Markt für die Verarbeitung von Fotolack, der für den Lithografieprozess unerlässlich sei. Darüber hinaus habe ASML praktisch einen 100 %igen Weltmarktanteil bei den EUV-Lithografiemaschinen, die für die Herstellung fortgeschrittener Knotenpunkter unter 7-nm notwendig sei.⁶⁴

Die nächste Tabelle gibt einen **Überblick über die Unternehmensstruktur** (IDM, Fabless, Foundry, OSAT) der folgenden Firmen und über ihre Hauptgeschäftsfelder:

61 OECD (2019), Measuring distortions in international markets: The semiconductor value chain, S. 22f, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

62 <https://www.institutmontaigne.org/en/about-us>.

63 S. 13, <https://www.institutmontaigne.org/ressources/pdfs/publications/weak-links-chinas-drive-semiconductors-note.pdf>.

64 S. 41, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

Firm name	Home economy	VC activity	Main business segments
Infineon	DEU	IDM	Analog and logic devices for the automotive industry and other industrial applications
Intel	USA	IDM	Microprocessors, logic, non-volatile memory, and FPGAs for computers, servers, and other electronic equipment
Micron	USA	IDM	Memory and logic
NXP	NLD	IDM	Analog and logic devices for the automotive industry and other industrial applications
Renesas	JPN	IDM	Analog and logic devices for the automotive industry and other industrial applications
Samsung Electronics	KOR	IDM	Memory and logic
SK Hynix	KOR	IDM	Memory mainly
STMicroelectronics	CHE	IDM	Analog and logic devices for the automotive industry and other industrial applications
Texas Instruments	USA	IDM	Analog and logic devices for the automotive industry and other industrial applications
Toshiba ¹	JPN	IDM	Memory mainly
Tsinghua Unigroup	CHN	IDM/Fabless ²	Phone-related devices and memory mainly
NVIDIA	USA	Fabless	GPUs and SoCs
Qualcomm	USA	Fabless	Wireless modems and other phone-related devices for the most part
Hua Hong Semiconductor	CHN	Foundry	Contract foundry
SMIC	CHN	Foundry	Contract foundry
TSMC	TWN	Foundry	Contract foundry
UMC	TWN	Foundry	Contract foundry

Firm name	Home economy	VC activity	Main business segments
Vanguard International Semiconductor	TWN	Foundry	Contract foundry
Advanced Semiconductor Engineering	TWN	OSAT	Contract assembly and testing
Amkor	USA	OSAT	Contract assembly and testing
JCET	CHN	OSAT	Contract assembly and testing

Notes: 1) Toshiba Memory was only spun-off from the broader Toshiba group in June 2018. Toshiba Memory is in the process of being renamed Kioxia. 2) Tsinghua Unigroup was originally a fabless company but has recently diversified into memory foundries.

OECD (2019).⁶⁵

4.2. Vom Design bis zum physischen Herstellungsprozess

SEMI⁶⁶ (2021) erklärt den komplexen und mehrstufigen Prozess zur Herstellung eines Halbleiters: Am Anfang stünde das **Halbleiterdesign**, das vor allem durch **Core Intellectual Property (core IP)** und durch spezielle Software (**EDA-electronic design automation**) bestimmt werde.⁶⁷ EDA-Tools dienen zur Planung, Prototypisierung, Analyse und Verifizierung der Funktionalität des vorgeschlagenen Designs. Am Back-End setzten EDA-Tools das Design in das physikalische Layout von Transistoren und Verbindungen um, die zur Erstellung der Masken für den Herstellungsprozess

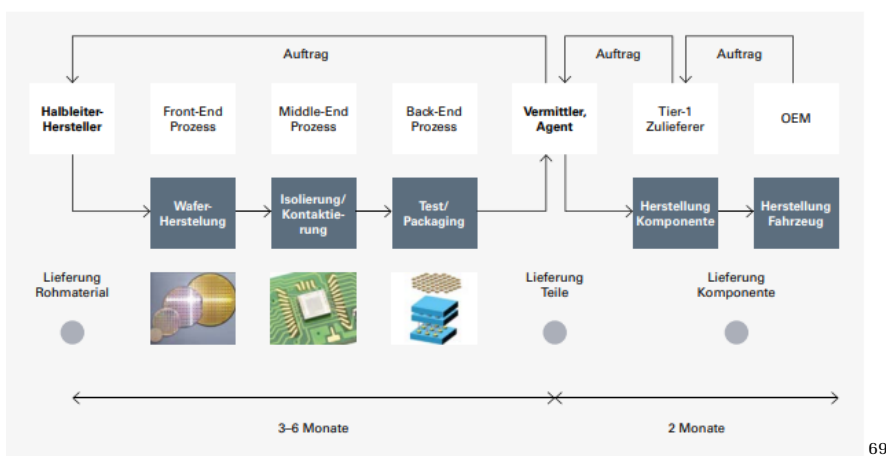
65 S. 58f, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

66 <https://www.semi.org/en>.

67 „EDA is software used to design chips. Until the 1970s, when chips included few electric components, engineers drew designs manually. Today, chips include billions of interconnected transistors and other electrical components. To manage this complexity, chip designers use EDA software’s automated design tools. Core IP consists of reusable modular portions of designs, allowing design firms to license and incorporate them in their designs.“ S. 6, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

zess verwendet würden. So würden beim Chipdesign häufig Halbleiter-Bausteine mit vorgefertigter Funktionalität verwendet. Die heutigen komplexen Chipdesigns bestünden oft zu mehr als 80 % aus Halbleiter-Bausteinen.

Der **physische Herstellungsprozess** erfolge in mehreren Stufen, beginnend mit der Herstellung des **Rohwafers**. Anschließend würden mikroskopisch kleine Schaltkreise auf dem Wafer hergestellt. Neben Silizium gebe es auch andere Wafer-Substratmaterialien, die für bestimmte Anwendungen verwendet würden, darunter Anwendungen von entscheidender Bedeutung für die nationale Sicherheit und die Infrastruktur, wie z. B. fortgeschrittene Kommunikations- und Leistungselektronik. Der Wafer werde dann in einzelne **Halbleiter** (engl. **Die**; im Plural **Dice**) zerschnitten. Die einzelnen **Die** würden dann **zusammgebaut, getestet und verpackt (ATP)**, um die endgültigen Halbleiterbauelemente herzustellen, dies geschehe in der Regel in einem anderen Unternehmen, das auf den ATP-Prozess spezialisiert sei. Der **komplexeste Teil** des Prozesses sei die **Herstellung der Wafer**. Bei der Waferherstellung gebe es viele einzelne Herstellungsschritte, die in der Regel unterschiedliche Ausrüstungen und spezielle Materialien für jeden Schritt erforderten.⁶⁸ Die physische Halbleiterproduktion vom **Front-End-Prozess (Wafer-Herstellung)** bis zum **Back-End-Prozess (ATP)** und in diesem Fall den Weg zum Fahrzeughersteller (Original Equipment Manufacturer - **OEM**) beschreibt die nächste Abbildung:



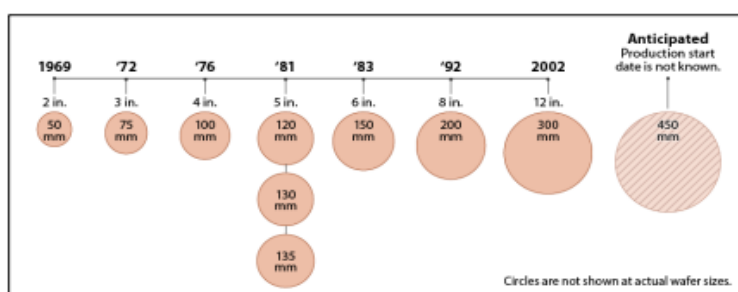
69

68 SEMI (2021), Public Comment 52. Kim Ekmark. 04/05/21, Defense Industrial Base Division, Office of Technology Evaluation Bureau of Industry and Security U.S. Department of Commerce Re: SEMI Comments to Risks in the Semiconductor Manufacturing and Advanced Packaging Supply Chain Notice of Request for Public Comments; 86 FR 14308; RIN 0694-XC073; Docket Number BIS-2021-0011, Posted by the Bureau of Industry and Security on Apr 6, 2021, S. 5, <https://www.regulations.gov/comment/BIS-2021-0011-0053>.

69 S. 7, https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Wissen_Kompakt_Halbleiter-Krise_als_Folge_der_Covid19-Pandemie.pdf.

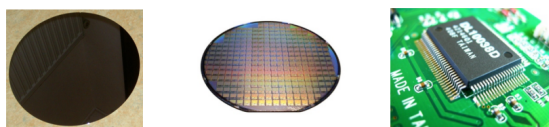
4.3. Wafer

Siliziumscheiben (sog. Wafer) sind das wichtigste Ausgangsmaterial für Halbleiterbauelemente. In jüngster Zeit wird als Ausgangsmaterial u. a. auch Galliumnitrid und Siliziumkarbid verwendet.⁷⁰ Siliziumscheiben werden aus reinstem Silizium hergestellt. Die Waferproduktion ist sehr energieintensiv.⁷¹ Für moderne, fortschrittliche Designs werden Wafer mit einem Durchmesser von 300 mm (12 Zoll bzw. inch) verwendet.⁷² Zu den Wafergrößen älterer Technologie gehören 150 mm (6 Zoll) und 200 mm (8 Zoll), sie werden für Chips mit älteren, größeren Knotenpunkten genutzt.⁷³ Die Grafik zeigt die zeitliche Entwicklung der Siliziumwafergrößen:



CRS-Report (2020).⁷⁴

Die Grafik zeigt den Weg vom Wafer über die Schaltkreise zum „Packaged chip“:



New wafer → Chips fabricated in wafer → Packaged chip Khan et al. (2021).⁷⁵

Einen Überblick über den **Waferherstellungsprozess** bietet die nächste Abbildung:

70 Vgl. Neitzel, Dörte (2022), Silizium – ein risikobehafteter Rohstoff?, 19.01.2022, https://www.all-electronics.de/ele_ktronik-fertigung/silizium-ein-risikobehafteter-rohstoff-780.html.

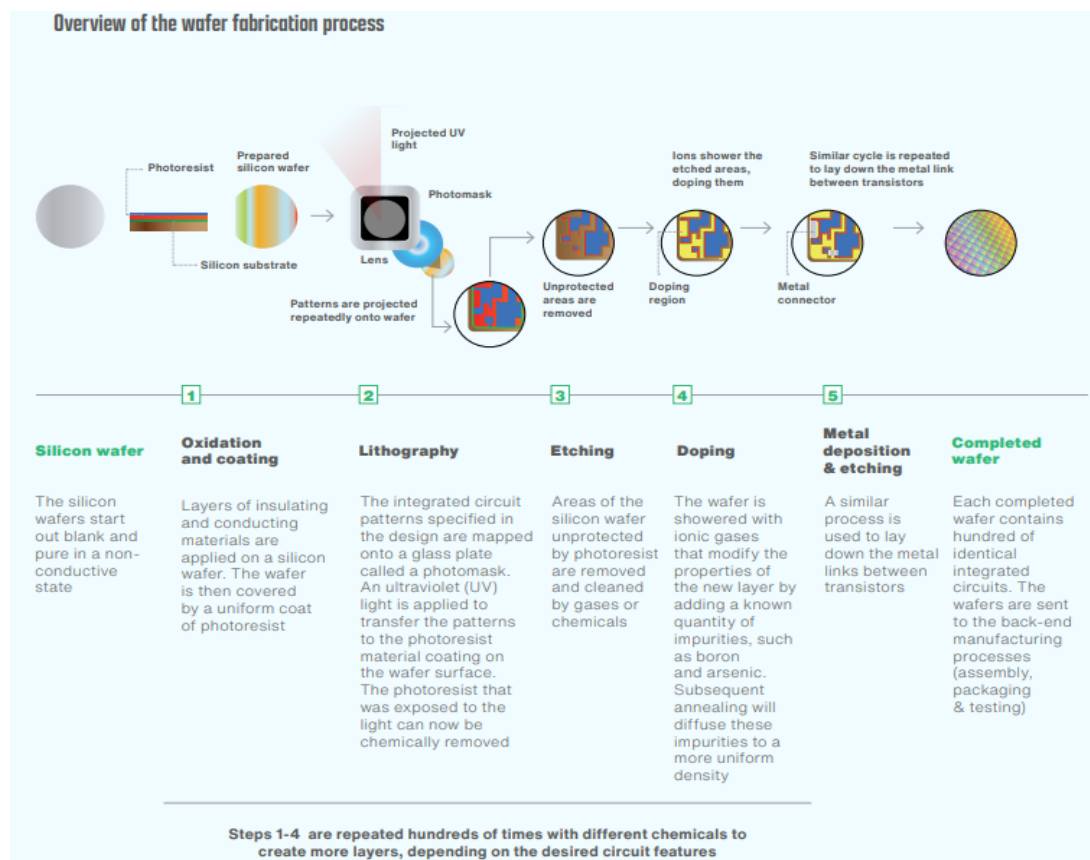
71 FOKUS 1-Siltronic gibt sich dank Halbleiter-Boom selbstbewusst. 02.02.2022.

72 S. 16, <https://www.regulations.gov/comment/BIS-2021-0011-0053>.

73 S. 57, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

74 Congressional Research Service (2020), S. 5, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46581>.

75 S. 7, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.



BCG/SIA (2021).⁷⁶

4.4. Unternehmen für Gase und Prozesschemikalien – Nasschemie

Kleinhans/Baisakova (2020) erläutern, die Halbleiterherstellung sei auf viele verschiedene Gase und Chemikalien für die verschiedenen Prozessschritte angewiesen. Diese Chemikalien und Gase würden in den meisten Fällen von großen Unternehmen geliefert, die auch andere Branchen belieferten. Nur sehr wenige Unternehmen belieferten ausschließlich die Elektronikindustrie.⁷⁷ Der Großteil des Geschäfts der meisten Anbieter von **Chemikalien** und **Gasen** finde außerhalb der Halbleiterindustrie statt. Gegenwärtig kontrollierten die sechs größten Anbieter: Versum Materials (USA), SK Materials (Südkorea), MTG/TNS (Japan), Air Liquide (Frankreich), Linde/Praxair (Großbritannien/USA) und KDK (Japan) etwa die Hälfte des Gesamtmarktes, während etwa 50 Anbieter die andere Hälfte des Marktes ausmachten.⁷⁸ Der Wettbewerb sei hart, weshalb der

76 S. 17, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf. BCG steht für die Boston Consulting Group.

77 S. 18, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

78 S. 46f, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>. Siehe auch S. 56, 60, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

Markt mehrere Fusionen und Übernahmen erlebt habe und zumeist von japanischen Unternehmen wie Shin-Etsu, Sumitomo Chemicals und Mitsui Chemicals beherrscht werde. Auch europäische Unternehmen wie BASF, Linde und Merck KGaA seien wichtige Chemikalienlieferanten.⁷⁹

4.5. Zulieferer für die Halbleiterwertschöpfungskette

Die OECD (2019) benennt für die Halbleiterwertschöpfungskette einige markante **Zulieferer** und erklärt:

- In der **Designphase** seien die Halbleiterhersteller in der Regel auf andere Unternehmen angewiesen, um IP-Cores und spezielle EDA-Software zu erhalten. Erstere würden größtenteils von der britischen Firma ARM⁸⁰ geliefert, während drei Unternehmen den größten Teil des EDA-Softwaremarktes beherrschten: Cadence (Vereinigte Staaten), Mentor Graphics (eine **Einheit von Siemens, Deutschland**) und Synopsys (Vereinigte Staaten).
- In der **Herstellungsphase** kauften die foundries spezielle Industriegase (z. B. Helium und Fluorwasserstoff-Ätzingas) und Chemikalien (z. B. Fotolack) von spezialisierten Unternehmen wie dem Chemiekonzern Entegris (USA) - der hauptsächlich die Halbleiterindustrie beliefere - und multinationalen Unternehmen wie BASF (Deutschland), Air Products & Chemicals (USA) und Showa Denko (Japan). Andere Unternehmen produzierten und verkauften Siliziumwafer an foundries, darunter: Shin-Etsu (Japan), die SUMCO Corporation (Japan), Wafer Works (Chinesisch-Taipeh), Siltronic (Deutschland), Sil'tronix Silicon Technologies (Frankreich), Okmetic (Finnland-China⁸¹) und Shanghai Simgui Technology (China). Wichtig seien auch die Anbieter von Schlüsselausrüstungen für die Herstellung (z. B. Stepper für die Fotolithografie), bei denen es sich in der Regel um große Unternehmen handele, die beträchtliche Mittel in die vorgelagerte Forschung und Entwicklung investierten, um an der Entwicklung neuer Lithografieverfahren und Präzisionsausrüstungen mitzuwirken. Zu den wichtigsten Unternehmen auf diesem Markt gehörten ASML (Niederlande), Applied Materials (Vereinigte Staaten), Tokyo Electron (Japan) und Lam Research (Vereinigte Staaten).
- In der **Montage-, Prüf- und Verpackungsphase** verwendeten OSAT-Anbieter Maschinen von spezialisierten Firmen wie: KLA-Tencor (Vereinigte Staaten), Advantest (Japan) und Teradyne (Vereinigte Staaten) für Prüfgeräte und Besi (Niederlande), ASM Pacific Technology (Singapur) und Towa (Japan) für Montagegeräte.⁸²

79 S. 18, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

80 ARM „is based in the United Kingdom but owned by Japan's SoftBank.“ S. 22, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

81 „China's state-backed National Silicon Industry Group (NSIG) acquired Finnish firm Okmetic in 2016.“ S. 23, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

82 OECD (2019), Measuring distortions in international markets: The semiconductor value chain, S. 22f, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>.

5. Führende Halbleiterhersteller und deren Fertigungskapazität

5.1. Führende Halbleiterhersteller

5.1.1. Die 20 weltweit führenden Halbleiterunternehmen 2018

Nach Branchenschätzung erwirtschaftete der Weltmarkt für Halbleiter im Jahr 2018 rd. 470 Mrd. USD, wobei auf die folgenden 20 größten Unternehmen 81 % des Gesamtvolumens entfallen. Ge-listet sind in der folgenden Grafik nur Konzerne mit eigener Fabrikation (IDM) und Fabless-Unternehmen ohne eigene Produktion.

Rank	Company name	Revenue in 2018 (USDmn)	Estimated market share	Home economy
1	Samsung Electronics ¹	78 430	17%	KOR
2	Intel	70 848	15%	USA
3	SK Hynix	36 761	8%	KOR
4	Micron	30 391	6%	USA
5	Broadcom	20 848	4%	SGP ²
6	Qualcomm ¹	17 400	4%	USA
7	Texas Instruments	15 784	3%	USA
8	Nvidia	11 716	2%	USA
9	Toshiba Memory Corporation ⁴	11 444	2%	JPN
10	Western Digital ¹	10 117	2%	USA
11	STMicroelectronics	9 612	2%	CHE
12	NXP	9 407	2%	NLD
13	Infineon	8 968	2%	DEU
14	Sony Semiconductor ¹	7 962	2%	JPN
15	MediaTek	7 892	2%	TWN
16	HiSilicon (Huawei) ¹	7 573	2%	CHN
17	Apple ^{1,3}	7 449	2%	USA
18	Renesas ¹	6 703	1%	JPN
19	AMD	6 475	1%	USA
20	Analog Devices	6 201	1%	USA
	TOTAL	381 982	81%	
	Estimated global market size	470 000		

Notes: Vendors comprise IDMs and fabless firms only. The total may differ slightly from the sum of individual company numbers due to rounding errors. 1) Semiconductor segment only. 2) Broadcom was domiciled in Singapore until 2018 when it moved to the United States. 3) Estimated. 4) Toshiba Memory is in the process of being renamed Kioxia.

Source: Companies' financial statements and websites, and World Semiconductor Trade Statistics for global market size.

OECD (2019).⁸³

5.1.2. Die 15 weltweit führenden Halbleiterhersteller 2021

Die folgende Liste der **15 größten Halbleiterhersteller** mit den höchsten Umsätzen weltweit bezogen auf die Umsätze im Jahr **2021** beinhaltet sowohl IDM, Fabless-Unternehmen sowie reine Auftragsfertiger wie TSMC. Europäische Firmen wurden gefettet:

Platz 1: Samsung (Südkorea)

Platz 2: Intel (USA)

Platz 3: TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing)

83 OECD (2019), Measuring distortions in international markets: The semiconductor value chain, OECD Trade Policy Papers, No. 234, OECD Publishing, Paris, 12.12.2019, S. 20, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/8fe4491d-en.pdf?expires=1648201213&id=id&accname=guest&checksum=EF1800F77A08330DC056E24F9384D01C>, dann Download starten.

- Platz 4: SK Hynix (Südkorea)
- Platz 5: Micron Technologies (USA)
- Platz 6: Qualcomm (USA)
- Platz 7: Nvidia (USA)
- Platz 8: Broadcom (USA)
- Platz 9: Mediatek (Taiwan)
- Platz 10: Texas Instruments (USA)
- Platz 11: AMD (USA)
- Platz 12: **Infineon (Deutschland)**
- Platz 13: Apple (USA)
- Platz 14: **ST Microelectronics (Schweiz/Italien/Frankreich)**
- Platz 15: Kioxia (Japan).⁸⁴

5.1.3. Die größten Halbleitersilizium- und Waferhersteller

Neitzel (2022) listet die größten Hersteller des **Halbleitersiliziums** des Jahres 2020:

1. „Shin-Etsu Chemical (Japan): 3,259 Mrd. Euro
2. Global Wafers (Taiwan): 1,76 Mrd. Euro
3. SUMCO (Japan): 1,303 Mrd. Euro
4. **Siltronic (Deutschland): 1,207 Mrd. Euro [...]**
5. SK Siltron (Südkorea): 1,056 Mrd. Euro.

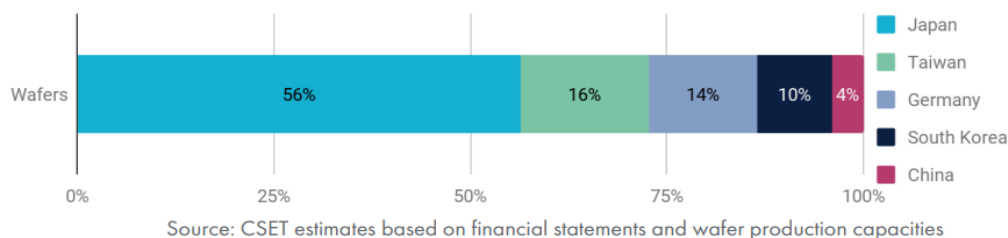
Aus dem Monosilizium entstehen anschließend die **Wafer**. Diese werden von denselben Unternehmen gefertigt. Entsprechend sehen nach Neitzel (2022) die Marktanteile der größten **Waferhersteller** aus:

1. Shin-Etsu: 32 Prozent
2. SUMCO: 25 Prozent
3. Global Wafers: 17 Prozent
4. Siltronic: 13 Prozent
5. SK Siltron: 13 Prozent.⁸⁵

84 Neitzel, Dörte (2019/2022), Kritische Rohstoffe, Chiphersteller 2021, Das sind die größten Halbleiterhersteller weltweit, 12.09.2019, aktualisiert am 01.04.2022, <https://www.technik-einkauf.de/rohstoffe/kritische-rohstoffe/das-sind-die-groessten-halbleiterhersteller-weltweit-282.html>.

85 Neitzel, Dörte (2022), Silizium – ein risikobehafteter Rohstoff?, 19.01.2022, <https://www.all-electronics.de/elektronik-fertigung/silizium-ein-risikobehafteter-rohstoff-780.html>.

Khan et al (2021) konstatieren, Unternehmen mit Hauptsitz in Japan, Taiwan, Deutschland und Südkorea seien die wichtigsten Hersteller von Wafern, insbesondere von **300-mm-Wafern**. Wafer mit einem Durchmesser von 300 mm würden für 99,7 % der weltweiten Fertigungskapazitäten zur Herstellung von Chips mit einem Knotenpunkt von **≤45 nm** verwendet. Die folgende Darstellung zeigt die Anteile der Länder an den Waferproduktionskapazitäten **nach Firmensitz**:

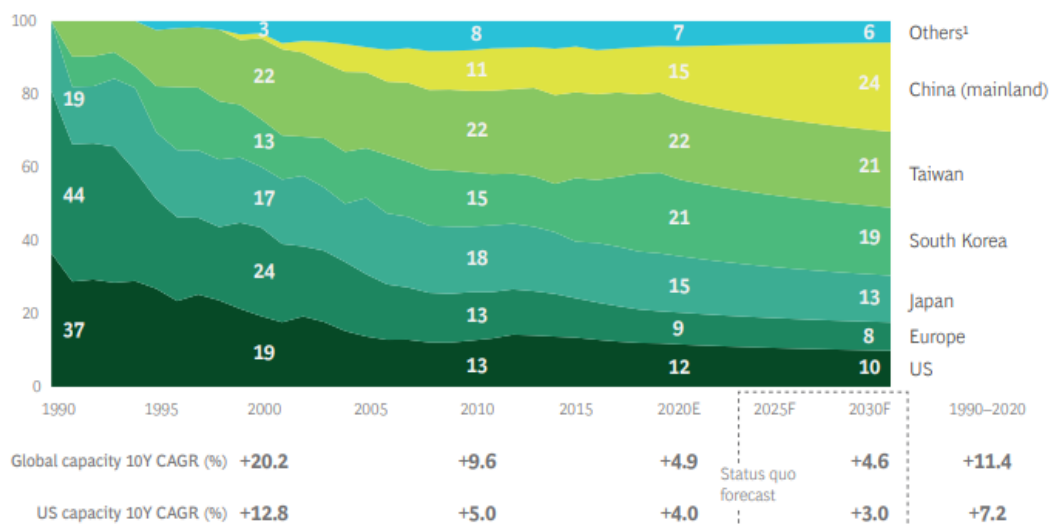
Khan et al. (2021).⁸⁶

5.2. Globale Fertigungskapazitäten

Die **globale Produktionskapazität für Halbleiter** ist in der folgenden Abbildung in Prozentpunkten dargestellt und gegliedert nach den Standorten USA, Europa, Japan, Südkorea, Taiwan, China Festland und anderen (d. h. einschl. Israel, Singapore und den Rest der Welt). Die europäische Halbleiterproduktion brach von 44 % im Jahr 1990 auf für das Jahr 2020 geschätzte 9 % (E) ein und für die Jahre 2025 bis 2030 werden 8 % vorhergesagt (F). Die Produktionskapazitäten der USA reduzierten sich von 37 % im Jahr 1990 auf geschätzte 12 % im Jahr 2020 und bis 2030 wird ein weiterer Rückgang auf 10 % vermutet:

86 S. 57, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

Global manufacturing capacity by location (%)



Sources: VLSI Research projection; SEMI second-quarter 2020 update; BCG analysis.

Note: All values shown in 8th equivalents; excludes capacity below 5 kwpm or less than 8th.

¹ Includes Israel, Singapore, and the rest of the world.

Varas et al. (2020).⁸⁷

Laut Frieske/Stieler (2021) umfassten die Pläne zum **Auf- und Ausbau von Fertigungsstätten** allein in den Jahren 2020, 2021 und 2022 Investitionen von über 168 Mrd. Euro, wobei insgesamt 50 neue Fabriken von den Herstellern geplant seien oder sich schon im Bau befänden. Diese würden zu großen Teilen in Asien umgesetzt. Die zusätzlichen Produktionskapazitäten ab 2021 beliefen sich laut Prognose auf ca. 2,6 Mio. Wafer (in 200 mm-Äquivalenten) pro Monat und sollten dazu beitragen, die Engpässe auch im Automotive-Bereich zu mindern.⁸⁸

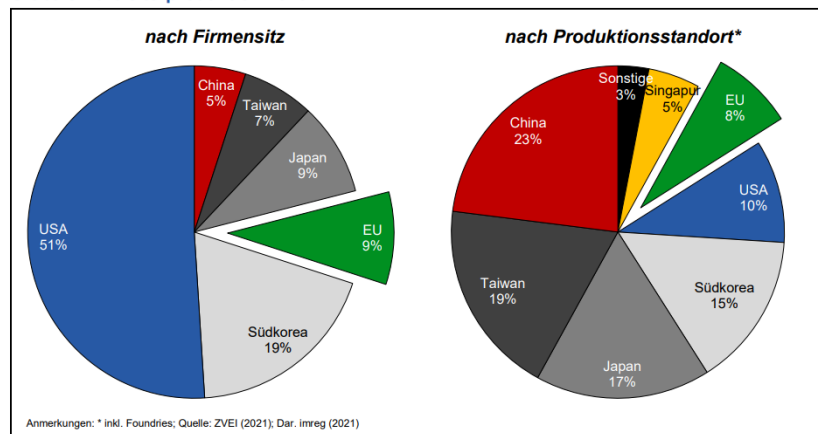
Die **globale Halbleiterproduktion für das Jahr 2020** gliedert nach **Firmensitz** und **Produktionsstandort** findet sich in den beiden nachstehenden Tortendiagrammen. Nach Firmensitz aufgeschlüsselt finden danach 51 % der weltweiten Halbleiterproduktion in den **USA** statt, nach Produktionsstandort gliedert sind es 10 %. In der EU liegen 9 % der Firmensitze und 8 % der Produktionsstandorte:

87 CAGR = Compound Annual Growth Rate, Jahreswachstum.

Varas, Antonio et al. (2020), Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing, S. 7, <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/09/Government-Incentives-and-US-Competitiveness-in-Semiconductor-Manufacturing-Sep-2020.pdf>. Vgl auch S. 16, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/November/Halbleiterindustrie_fuer_Deutschland_und_Europa/Semiconductor-Strategy-for-Germany-and-Europe.pdf.

88 2021, S. 8, https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Wissen_Kompakt_Halbleiter-Krise_als_Folge_der_Covid19-Pandemie.pdf.

Globale Halbleiterproduktion 2020



Anmerkungen: * inkl. Foundries; Quelle: ZVEI (2021); Dar. imreg (2021)

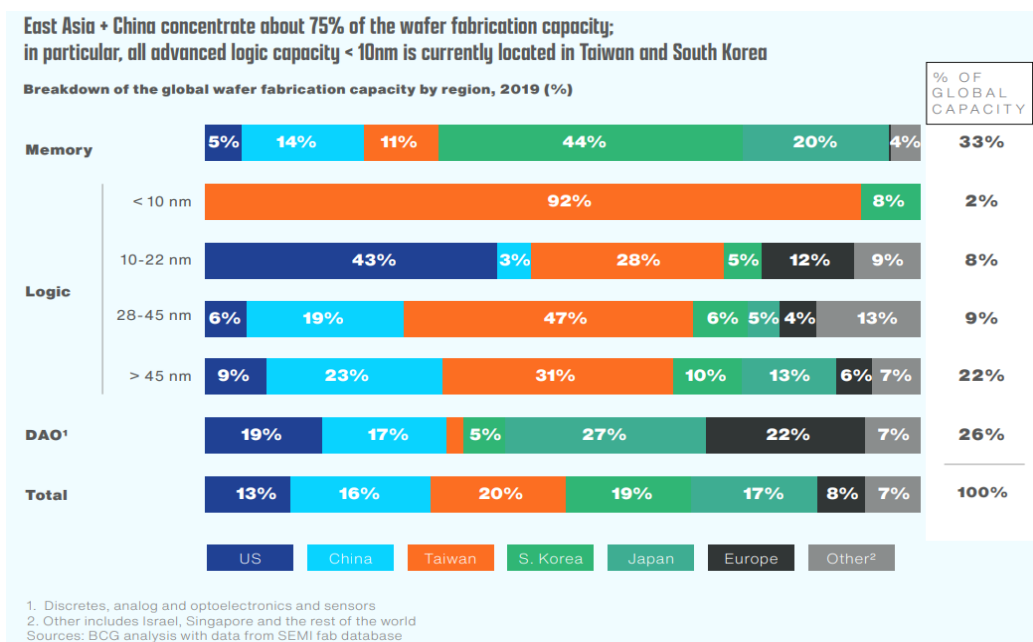
imreg (2021).⁸⁹

Nach Angaben von Arnold (2022) steige die Kapazität der Top-Ten-Foundries der Welt zwischen 2020 und 2025 gemessen in 300 mm-Wafer-Äquivalenten laut den Markforschern von TrendForce um durchschnittlich 10 % pro Jahr. Dabei legten die meisten Foundries den Schwerpunkt auf die Erweiterung der Kapazitäten für die Fertigung der 300-mm-Wafer, deren durchschnittliches jährliches Wachstum TrendForce auf 13,2 % zwischen 2020 und 2025 schätze. Beim Sektor der 200-mm-Wafer sehe die Situation allerdings etwas anders aus. Hier fürchteten die Hersteller, dass Kapazitätsausweitungen sich als wenig kosteneffektiv erweisen könnten, zudem sei es schwierig, Equipment für die Fertigung von 200-mm-Wafern zu bekommen.⁹⁰

Laut dem Diagramm von BCG/SIA entfielen im Jahr 2019 ca. 75 % der **Halbleiterproduktionskapazitäten** (untergliedert in Memory, Logic und DAO) auf Ostasien und China. Insbesondere alle fortschrittlichen Logikkapazitäten <10 nm befänden sich in Taiwan (92 %) und Südkorea (8 %):

89 imreg (Institut für Mittelstands- und Regionalentwicklung GmbH) (2021), Disruptive Entwicklung erzeugt mehr Risiken als Chancen – Politik muss Konstanz und Technologieoffenheit wahren, Standpunkt Automotive Ost Juli IV, Juli 2021, S. 3, https://imreg.de/wp-content/uploads/2021/09/imreg-STP-Branche_07-2021_Auto_4_Elektro.pdf.

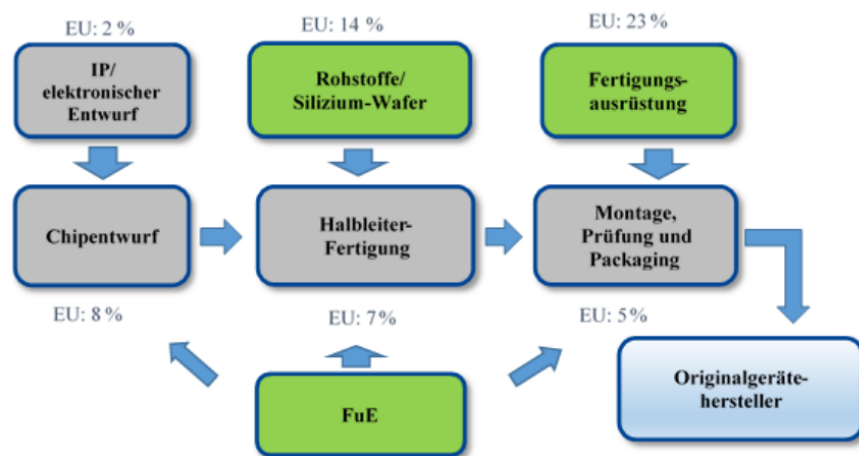
90 Arnold, Heinz (2022), Kapazitäten bleiben bis 2024 knapp, 08.02.2022, In: elektroniknet.de, <https://www.elektroniknet.de/halbleiter/kapazitaeten-bleiben-bis-2024-knapp.193533.html#:~:text=Um%20durchschnittlich%2010%20Prozent%20pro.zwischen%202020%20und%202025%20steigen>.



BCG/SIA (2021).⁹¹

5.3. Erzeugungskapazität in Europa und Deutschland

Das nächste Bild zeigt Angaben der Europäischen Kommission (2022) zum Anteil der EU an den globalen Marktanteilen in relevanten Segmenten.



EU-Kommission (2022)⁹²

91 S. 35, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

92 Europäische Kommission (2022), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Ein Chip-Gesetz für Europa, S. 9, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0045&from=EN>.

Die EU-Kommission (2022) führt aus, bei Halbleitern sei Europa in einigen spezifischen Bereichen stark, z. B. beim Entwurf von Komponenten für Leistungselektronik, für Hochfrequenz- und Analoggeräte, Sensoren und Mikrocontroller, die in der Automobilindustrie und der Fertigungsindustrie weitverbreitet seien. Europa sei auch der weltweite Mittelpunkt für die Halbleiterforschung.⁹³

Im Arbeitspapier der EU-Kommission (2021) wird verlautbart, die Entwicklung und Produktion von Halbleitern in Europa konzentriere sich hauptsächlich auf Deutschland, Frankreich, Italien, die Niederlande, Österreich, Belgien und Irland. Ein umfangreiches, über ganz Europa verteiltes System von Unternehmen liefere Materialien, Anlagen und Dienstleistungen für die Halbleiterherstellung. Die wichtigsten Anbieter mit Hauptsitz in der EU, Infineon (DE), NXP (NL), ST Microelectronics (FR/IT) und Bosch Semiconductors (DE), seien weltweit tätig und belieferten Ausrüster (OMEs) in den Bereichen Kraftfahrzeugbau, Industrieautomatisierung, Sicherheit und Gesundheitswesen (wo sie Weltmarktführer seien) sowie in der Luftfahrt, Energieerzeugung und Telekommunikation. Europa habe auffällige **Schwächen bei Design- und Designautomatisierungswerkzeugen (EDA)**, was sich in dem geringen Anteil der in der EU ansässigen Unternehmen im Bereich "IP/EDA" und "fabless" Chip-Unternehmen widerspiegele. Diese Teile der Lieferkette würden hauptsächlich von den USA beherrscht. **ATP** sowie die Chipherstellung seien überwiegend in Asien angesiedelt. Fortgeschrittene Gehäusetechnologien, die die Integration verschiedener funktionaler Komponenten in einzelne "Chipllets" ermöglichten, würden immer wichtiger, um den steigenden Anforderungen an Leistung und Energieeffizienz gerecht zu werden, die zum einen mit Elektrofahrzeugen und zum anderen mit der Fülle der von der KI angetriebenen Edge-Computing-Anwendungen einhergehen. Europa sei daher bei den allgemeinen Designwerkzeugen stark von den USA und bei der fortschrittlichen Chipfertigung von Asien abhängig.

Die europäische Elektronikindustrie sei weltweit führend bei Innovationen in den Bereichen Leistungselektronik, Sensoren und fortschrittlichen Chipherstellungsanlagen. Die laufenden Projekte im Rahmen des im Dezember 2018 genehmigten IPCEI zur Mikroelektronik spielten eine wichtige Rolle bei der Stimulierung zusätzlicher privater Investitionen in Innovation und letztendlich auch in die Fertigung in der EU, insbesondere für die Automobil- und IoT-Märkte. Die Hersteller von Chips mit Spitzenknoten (TSMC, Samsung, Intel) verließen sich bei ihrer Technologieentwicklung auf spezielle EUV-Photolithografiemaschinen, die von einem einzigen globalen Anbieter, insbesondere von ASML (NL), hergestellt würden, der zum europäischen Ökosystem der Elektronik gehöre.

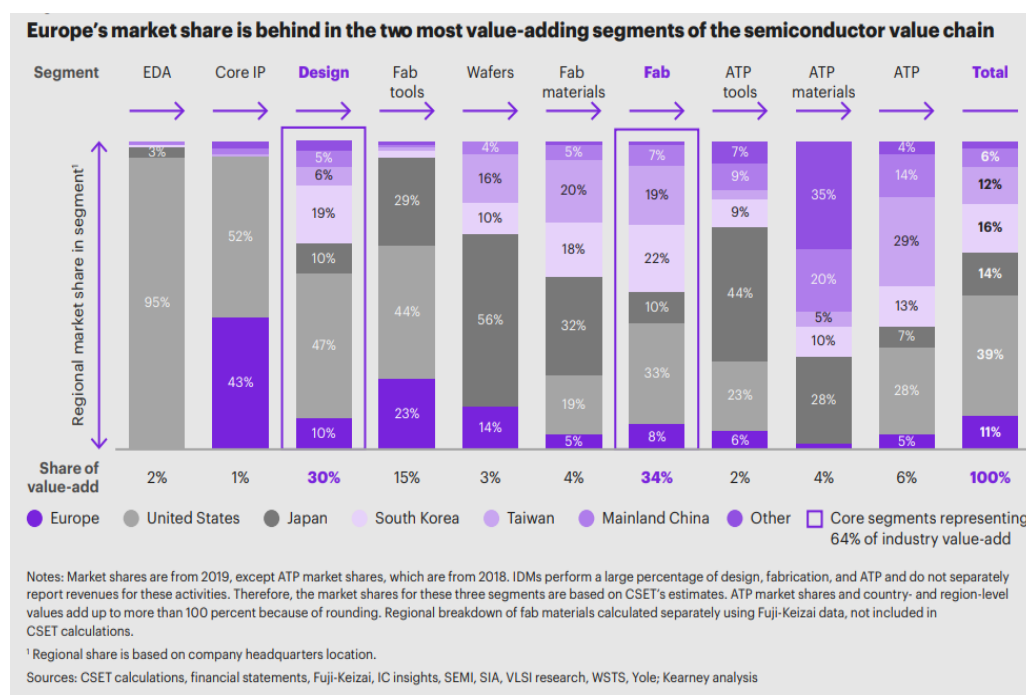
In Europa gebe es keine Foundries, die eine Fertigung von Komponenten mit einer Strukturgröße von weniger als 22 nm (notwendig für Speicher- und Prozessorchips) anböten, so dass man sich in dieser Hinsicht auf Samsung oder TSMC verlassen müsse. Prozessoren seien entscheidend für die wachsende Bedeutung der Datenverarbeitung für die Kommunikation, für Komponenten der Künstlichen Intelligenz sowie für High-End- und allgemeine Datenverarbeitung.

Die EU-Lieferanten seien stark bei dedizierten Prozessoren (Mikrocontrollern) für eingebettete Systeme in der Automobilindustrie (37% Weltmarktanteil) und in Industrieanwendungen ein-

93 EU-Kommission (2022), S. 1, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0045&from=EN>.

schließlich Maschinen (17 % Weltmarktanteil). Es werde erwartet, dass diese Märkte in den kommenden Jahren erheblich wachsen würden. Die europäischen Unternehmen seien in diesen Sektoren stark bei Lösungen für das Energiemanagement und energieeffizienten Halbleitertechnologien. Die Marktpräsenz der EU-Lieferanten bei der Entwicklung und Herstellung des Designs für Prozessoren und Prozesstechnologie und Fertigung („generic processor design and process technology design and manufacturing“) sei derzeit sehr begrenzt. Dies spiegele sich in einem bescheidenen Weltmarktanteil in den Bereichen Kommunikation (z. B. Mobiltelefone) und Datenverarbeitung (z. B. Personalcomputer) wider, der sich auf 5 % bzw. 3 % belaufe. Beim Design von Mehrzweckprozessoren stütze sich Europa fast ausschließlich auf von US-Unternehmen entwickelten Entwurfswerkzeugen und IP.⁹⁴

Die nachfolgende Darstellung zeigt Europas Marktanteil an den beiden wertschöpfungsstärksten Segmenten der Halbleiterwertschöpfungskette.



Kearney (2021).⁹⁵

Kleinhans/Baisakova (2020) betonen, europäische Unternehmen spielten in den meisten Bereichen der Halbleiterwertschöpfungskette eine untergeordnete Rolle. Sie seien stark bei **Sensoren**,

94 European Commission (2021), COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, Strategic dependencies and capacities, Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery, Brussels, 05.05.2021 SWD(2021) 352 final, S. 85ff, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/swd-strategic-dependencies-capacities_en.pdf.

95 S. 19, <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading+edge+semiconductor+ecosystem.pdf/f3ec1e30-b8ff-b367-417c-62cf476342ea?t=1636582354000>.

diskreten Halbleitern und insbesondere bei **ICs** für die Automobilindustrie. Neben der Produktion spielten europäische Unternehmen als **Zulieferer** eine wichtige Rolle: ASML, ASM International, Aixtron (Ausrüstung); BASF, Linde, Merck KGaA (Chemikalien); und Siltronic (Wafer). Insgesamt sei Europa jedoch bei „high-volume, cutting-edge fabs“ und beim Chipdesign stark ins Hintertreffen geraten.⁹⁶

Der Congressional Research Service (2020) äußerte, Halbleiterunternehmen mit Hauptsitz in Europa spezialisierten sich in der Regel auf **Nischenmärkte**, darunter die **Automobilindustrie, Energieanwendungen** und die **industrielle Automatisierung**; sie produzierten allerdings kaum Computer- und Verbraucherchips. Einige europäische Unternehmen würden als stark in den Bereichen Chip-Architektur, mobile Telekommunikation und industrielle Anwendungen sowie Sicherheitschips (z. B. für Pässe, Ausweise und Smartphones) gelten, einem Markt, der von NXP, Infineon und STMicroelectronics beherrscht werde. Der Anteil Europas an den weltweiten Umsätzen der Fabless-Unternehmen sei gering (2 %).⁹⁷

Kleinhans (2021) äußert, bei der Betrachtung der regionalen Waferkapazitäten für bestimmte Technologieknoten werde deutlich, dass die **Herstellung von Spitzenwafern mit 7 nm oder weniger** nur in **Süd-Korea** und **Taiwan** stattfinde. In Europa fehle es sowohl an Spitzen-Fabs als auch an Fabriken älterer Wafer-Generationen.⁹⁸ Knoten zwischen 10 und 20 nm seien in Europa bislang nicht verfügbar. Knoten zwischen 20 und 40 nm würden von Intel in Israel und Irland produziert und in Fabs von STMicroelectronics in Crolles (Frankreich) mit 28 nm und Globalfoundries⁹⁹ in Dresden mit 22 nm. Knoten zwischen 180 und 40 nm (sog. „mature“ nodes) würden von vielen europäischen IDMs betrieben. Neben STMicroelectronics in Frankreich und Italien und Globalfoundries in Deutschland betrieben auch Bosch (65 nm oder größer in Dresden), Infineon (90 nm oder größer in Dresden), X-FAB (130 nm oder größer in Corbeil-Essonnes, Frankreich) und NXP (140 nm oder größer in Nijmegen, Niederlande) diese Prozessknoten. Obwohl einige dieser Knoten nach heutigen Maßstäben als "antik" gälten, seien gerade diese Knotengrößen für Chips in der Automobilindustrie und für industrielle Anwendungen sehr gefragt. Fast 50 % der gesamten europäischen Waferkapazität bestehe aus Knoten, die 180 nm oder größer seien. Obwohl vor mehr als 20 Jahren eingeführt, würden diese Knoten auch heute noch für Leistungshalbleiter, Sensoren und andere Arten von analogen Halbleitern genutzt. Zusätzlich zu den oben genannten Unternehmen gebe es viele spezialisierte Foundries wie X-FAB und United Monolithic Semiconductor (UMS), beide mit Produktionsstätten in Deutschland und Frankreich, die

96 S. 22, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

97 Congressional Research Service (2020), Semiconductors: U.S. Industry, Global Competition, and Federal Policy October 26, 2020, S. 34f, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R46581>.

98 Vgl. S. 11. Auf der Seite 12 finden sich die Regionen, die bestimmte Technologieknoten herstellen, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/eu-semiconductor-manufacturing.april_2021.pdf.

99 „Globalfoundries, headquartered in the US but owned by a state-owned investment company from the United Arab Emirates, the only trailing-edge foundry in EU.“ https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/eu-semiconductor-manufacturing.april_2021.pdf.

Prozessknoten von 180 nm und größer herstellen.¹⁰⁰ Zusammenfassend lasse sich sagen, dass die EU im Vergleich zu anderen wichtigen Regionen in der Halbleiterwertschöpfungskette, wie Japan, Südkorea, Taiwan, den Vereinigten Staaten oder China, über die bei weitem geringste Wafergesamtkapazität verfüge. Außerdem könne nur ein sehr kleiner Teil dieser Kapazität für die Herstellung moderner **Logikhalbleiter** genutzt werden: Globalfoundries in Dresden (22 nm) und STMicroelectronics in Crolles, Frankreich (28 nm). Infineon, NXP und STMicroelectronics gehören zu den führenden Anbietern von **Mikrocontrollern** für Industrie- und Automobilanwendungen; die meisten dieser Chips würden jedoch in Foundries hergestellt. Die Mehrheit der Anbieter von Logikhalbleitern folge einem "fab-lite"-Geschäftsmodell und verlasse sich auf Foundries außerhalb Europas.¹⁰¹

Laut Germany Trade and Invest (GTAI)¹⁰² sind die Länder Sachsen, Baden-Württemberg und Bayern sehr erfolgreich im Bereich Mikroelektronik und auch der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik¹⁰³ sei weltweit führend in Forschung und Entwicklung.¹⁰⁴ Zur Halbleiterindustrie in Deutschland finden sich weitere ausführliche Informationen unter dem folgenden Link:

<https://www.gtai.de/en/invest/industries/industrial-production/semiconductors>.

In Sachsen im „Silicon Saxony“ befinden sich „Halbleiterfertigungswerke etwa von Infineon, Bosch, X-Fab und Globalfoundries“.¹⁰⁵ Im **KPMG-Weißbuch** (2020), das im Rahmen eines Programms vom indischen Ministerium für Kleinst-, Klein- und Mittelbetriebe über bestimmte Bereiche der Elektronikindustrie¹⁰⁶ in Auftrag gegeben wurde, heißt es zu Silicon Saxony:

„Silicon Saxony is one of the largest microelectronics and IT clusters in Germany and Europe and the fifth largest in the world. It is the largest high-tech network for microelectronics, smart systems, photovoltaic, software, and application sectors in Europe with the focus on new technological innovations such as Internet of Things, artificial intelligence, robotics, automation, sensors, etc. It comprises of universities, research institutes, public institutions, manufacturers, suppliers, service providers, and start-ups. There is a strong academic environment including technical universities, Fraunhofer, Leibniz, Max Planck, and Helmholtz institutes with expertise in the area of microelectronics/ICT. [...]. Some of the major players in the network include Globalfoundries, Infineon Dresden, and Bosch. Infineon Dresden is a

100 Kleinhans (2021), The lack of semiconductor manufacturing in Europe, S. 12, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/eu-semiconductor-manufacturing.april_.2021.pdf.

101 Kleinhans (2021), The lack of semiconductor manufacturing in Europe, S. 13, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/eu-semiconductor-manufacturing.april_.2021.pdf.

102 <https://www.gtai.de/en/meta/about-us> .

103 <https://www.mikroelektronik.fraunhofer.de/de/ueber-den-verbund.html>.

104 <https://www.gtai.de/en/invest/industries/microelectronics-success-story-germany--798930>;
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/mikroelektronik.html>.

105 <https://www.heise.de/select/ct/2021/14/2114711074810561647>

106 Electronics System Design & Manufacturing (ESDM).

subsidiary of Infineon Technologies AG and one of the largest Infineon production sites with a highly automated high-mix fab for 200 mm wafers.“¹⁰⁷

Ferner wird dort konstatiert:

„Germany is extensively investing in next-generation microelectronic components focusing on automotive and healthcare markets. The microelectronics sector in Germany is organized into strong clusters. Germany is a leader in European semiconductor production. One in every three chips produced in Europe is made in Germany. German companies are particularly strong in energy-saving electronics and sensor systems.“¹⁰⁸

In einzelnen Marktsegmenten (z. B. der **Leistungselektronik** u. a. für die Elektromobilität) sind laut Bundesregierung (2021) deutsche Chiphersteller führend und **Europa** sei **technologisch souverän**. In anderen Bereichen (z. B. **höherwertige Prozessoren** u. a. für das autonome Fahren) sei Europa vielfach auf **Importe** angewiesen.¹⁰⁹

In einem Offenen Brief mahnt Silicon Saxony im März 2021, im weltweiten Vergleich nehme der Anteil der Chips, die in Europa produziert würden, seit Jahren stetig ab. Produktionskapazitäten konzentrierten sich immer mehr in Asien (Taiwan und Südkorea).¹¹⁰

Genaue Zahlen zu einzelnen Produktionskapazitäten der Halbleiterunternehmen in Deutschland finden sich im monatlichen „**World Fab Forecast**“ des internationalen Branchenverbandes **SEMI** und sind nicht frei zugänglich (kostenpflichtig). Die größten Produktionskapazitäten in Deutschland haben in alphabetischer Reihenfolge die Hersteller Bosch, Globalfoundries und Infineon.

107 KPMG (2020), White Paper – ESDM Industry, Technology Cluster Manager (TCM), Technology Centre System Program (TCSP), Office of DC MSME, Ministry of MSME, December 2020, S. 26, http://www.dcmsme.gov.in/white_paper/2.%20Whitepaper-ESDM%20Sector-Year%201.pdf.

108 KPMG (2020), White Paper – ESDM Industry, Technology Cluster Manager (TCM), Technology Centre System Program (TCSP), Office of DC MSME, Ministry of MSME, December 2020, S. 26, http://www.dcmsme.gov.in/white_paper/2.%20Whitepaper-ESDM%20Sector-Year%201.pdf.

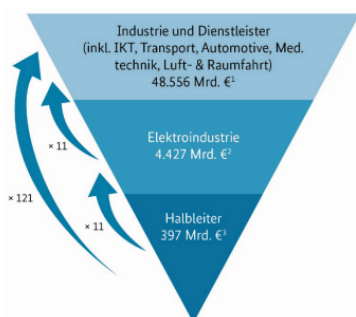
109 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Industriepolitische Bedeutung der Mikroelektronik und Wirksamkeit von Fördermaßnahmen, 25.02.2021, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/270/1927072.pdf>.

110 Offener Brief, <https://www.silicon-saxony.de/news/news-detail/archive/2021/march/article/silicon-saxony-offener-brief-zum-thema-halbleiterfertigung-in-deutschland-und-europa/01/>.

6. Folgen eines Mangels an Halbleitern

Der Halbleiterindustrie fällt, wie die nächste Grafik veranschaulicht, „die wichtige Rolle zu, die in der Lieferkette nachgeschalteten Anwenderindustrien zu versorgen. Als Vorprodukt zu jedem einzelnen elektronischen Gerät sind sie unverzichtbar.“¹¹¹

Elektronik ist die Schlüsseltechnologie in einer digitalisierten Gesellschaft wie Deutschland.
Halbleiter bilden die Basis für Wertschöpfungsketten mit hohen Multiplikatoren.



Quelle: BT-Drs. 19/24557.¹¹²

Attinasi et al. (2021) konstatieren, aktuelle Umfragen deuteten auf schwerwiegende Engpässe bei Halbleitern in einigen der wichtigsten Branchen des verarbeitenden Gewerbes hin, insbesondere in Deutschland. Die Abbildung zeige, dass die Auswirkungen dieser Halbleiterengpässe am deutlichsten in Branchen mit einem höheren Anteil an elektronischen Geräten zu spüren seien, wie etwa in der Computer- und Elektronikindustrie, der Elektroindustrie und der Automobilindustrie. Im Ländervergleich (Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien und den Niederlanden) sei dieser Engpass für deutsche Unternehmen deutlich erkennbar:

111 Weber, Wolfgang (2022), Mangel an Vorprodukten, Lieferengpässe, Produktionsausfälle: Es klemmt nahezu überall. Was ist zu tun?, ifo Schnelldienst 1/2022 75. Jahrgang 19. Januar 2022, <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2022-01-strategien-flaschenhals-rezession.pdf>.

112 Unterrichtung durch die Bundesregierung, Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2021 bis 2024 Mikroelektronik – Vertrauenswürdig und nachhaltig – Für Deutschland und Europa, BT-Drs. 19/24557, 13.11.2020, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/245/1924557.pdf>.

Shortage of material and/or equipment as a factor limiting production

(percentage of survey respondents by industry)

	Euro area	Germany	France	Italy	Spain	Netherlands
Manufacturing	23	42	6	7	14	20
Computers/electronics	34	70	-1	14	19	11
Electrical equipment	36	56	23	12	32	37
Motor vehicles/trailers	35	58	2	7	50	35

Source: European Commission Business survey, April 2021.

Note: The time series for the survey responses are seasonally adjusted which may explain negative values in some industries.

113

Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie erklärte im Januar 2022, die schwierige Versorgungslage mit Halbleiterprodukten wirke sich unmittelbar auf viele Industriebranchen aus. Neben der **Automobilindustrie** seien zum Beispiel auch der **Maschinenbau** und **Hersteller von Computern, Servern, Laptops, Tablets und Smartphones, Unterhaltungselektronik, Elektrogeräten, Kreditkarten, Sensoren oder anderen Produkten mit digitalen Funktionen** in erheblichem Umfang beeinträchtigt. Nach einer aktuellen Umfrage des Branchenverbandes VDMA meldeten über 80 Prozent der Maschinenbauunternehmen in Deutschland derzeit Schwierigkeiten bei der Beschaffung von Elektronik- und Elektrotechnikkomponenten. Die durch den Chipmangel bedingten Produktionseinschränkungen und -ausfälle im Verarbeitenden Gewerbe wirkten sich zudem auch indirekt auf viele **Zulieferunternehmen** und **Dienstleister** aus allen Bereichen der Wirtschaft negativ aus. Es sei daher davon auszugehen, dass eine große Vielzahl von Unternehmen in Bayern akut betroffen sei.¹¹⁴

6.1. Automobilindustrie

Nachfolgend findet sich eine der Publikation von Frieske/Stieler entnommene exemplarische Übersicht zu den Auswirkungen des Halbleitermangels bei Automobilherstellern (OEMs) (Stand: 30.06.2021):

„**Audi** musste aufgrund fehlender Elektronik-Bauteile in den Werken Ingolstadt und Neckarsulm (A4 und A5) für einen Teil der Belegschaft Kurzarbeit umsetzen.

BMW hatte kurzzeitige Produktionsstopps in den Werken Regensburg (1er, 2er, X1, X2), Leipzig (i3) und im englischen Oxford (Mini) aufgrund fehlender Teilelieferungen zu beklagen.

113 Attinasi, M. G. et al. (2021), The semiconductor shortage and its implication for euro area trade, production and prices, ECB Economic Bulletin 4/2021, Europäische Zentralbank, Frankfurt am Main, https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2021/html/ecb.ebbox202104_06~780de2a8fb.en.html.

114 Bayerischer Landtag (2022), Schriftliche Anfrage vom 04.10.2021, Chipmangel in Bayern, 20.01.2022, https://www.bayern.landtag.de/www/ElanTextAblage_WP18/Drucksachen/Schriftliche%20Anfragen/18_0018784.pdf.

Daimler musste einen Produktionsstopp in den Werken Sindelfingen (E-Klasse), Bremen (C-Klasse, GLC), Rastatt sowie im ungarischen Standort Kecskemet (A-Klasse, B-Klasse, GLA) einleiten, für die jeweiligen Mitarbeitenden wurde befristet Kurzarbeit angemeldet. Die Lieferung von Elektronik-Komponenten wird so gesteuert, dass diese priorisiert in Margen-starken Modellen (wie z.B. der S-Klasse oder des EQS) Anwendung finden und diese weiterhin produziert werden können.

Ford musste die Produktion im Werk Köln für mehrere Wochen einstellen, betroffen sind ungefähr 5.000 der dortigen 15.000 Mitarbeitenden. Ebenfalls wurde die Produktion in den Werken Saarlouis (Focus), im türkischen Gölcük, im rumänischen Craiova, in Valencia sowie weiteren Werken in den USA reduziert oder gänzlich unterbrochen. Das Unternehmen rechnet mit einem durch die Lieferengpässe verursachten Rückgang des Gewinns um 1 bis 2,5 Mrd. Dollar in 2021.

Bei der Marke **Volkswagen** sind die Werke in Wolfsburg (Golf), Emden (Passat), Mexiko (Jetta, Tiguan) und in der Slowakei (Bratislava, v. a. SUV-Modelle) betroffen. Konzernübergreifend konnten im ersten Quartal 2021 aufgrund der Halbleiter-Engpässe ungefähr 100.000 Fahrzeuge weniger produziert werden. In Konsequenz reagiert Volkswagen so, dass eigene Beziehungen zu Halbleiter-Produzenten aufgebaut werden, um Kapazitäten direkt verhandeln und besser steuern zu können. Auch die Lagerbestände sollen für spezielle Chips zukünftig erhöht werden.

Weiterhin berichteten u. a. auch Opel, Tesla, Toyota, Nissan, Hyundai, Jaguar Land Rover sowie Peugeot und Renault von Problemen durch fehlende Bauteile und Lieferengpässe im Jahr 2021.¹¹⁵

Auch im April 2022 stehen nach Medienberichten Bänder aufgrund des Halbleitermangels und des Mangels an weiteren Bauteilen in Teilen still.¹¹⁶

6.2. Solaranlagen

Aktuell wird ein Ansturm auf Solaranlagen verzeichnet, aber die Hersteller verfügen noch immer nicht über genügend Halbleiter-Chips für die Produktion.¹¹⁷

115 Frieske, Benjamin; Stieler, Sylvia (2021), Die „Halbleiter-Krise“ als Folge der Covid-19-Pandemie, Wissen Kompakt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Fahrzeugkonzepte; IMU Institut GmbH, S. 2, https://www.transformationswissen-bw.de/fileadmin/media/Publikationen/e-mobil_Studien/Wissen_Kompakt_Halbleiter-Krise_als_Folge_der_Covid19-Pandemie.pdf.

116 Bänder bei Ford in Köln stehen weiter still, Auch nach den Werksferien fehlen Teile für den Bau des Fiesta, stattdessen werden Anlagen gewartet, 26.04.2022, Kölner Stadt-Anzeiger, Seite 8; BMW stoppt Bänder in Regensburg, In Dingolfing startete hingegen die Produktion in Teilen früher, 26.04.2022, Passauer Neue Presse, Seite 7.

117 Herold, Roland (2022), Ansturm auf Solaranlagen in Sachsen - lange Wartezeiten, Die Nachfrage nach Photovoltaikanlagen im Freistaat steigt ständig, vor allem für Eigenheime. Hersteller und Handwerker kommen nicht hinterher, 27.04.2022, Leipziger Volkszeitung, Seite 1.

Siehe hierzu auch

Witsch, Kathrin (2021), Chipmangel bremst nun auch die Solarbranche aus, Der größte Solarkonzern Deutschlands kürzt wegen Halbleiter-Mangels seine Gewinnprognose. Auch der Rest der Branche spürt die Folgen der Krise, 08.09.2021, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/halbleiter-krise-chipmangel-bremst-nun-auch-die-solarbranche-aus/27588616.html>.

6.3. Nationale Sicherheit

An dieser Stelle kann nur ein kurzer Überblick aus öffentlichen Quellen gegeben werden. Eine erschöpfende Darstellung nationaler Sicherheitsfragen ist hier u.a. aus Kapazitätsgründen nicht möglich.

Grundsätzlich sind Halbleiter sowohl für das Wirtschaftswachstum als auch für die nationale Sicherheit von strategischer Bedeutung.¹¹⁸ Schröder (2022) konstatiert, Halbleiterknappheit sei zu einer kritischen technologischen Schwachstelle und zu einer potenziellen Bedrohung der nationalen Sicherheit für große Volkswirtschaften wie den Vereinigten Staaten, China und Europa geworden, da alle Länder und viele Industriezweige auf Taiwan als Lieferanten von hochmodernen Halbleiterprodukten angewiesen seien. Der Mangel in der Lieferkette habe zu Diskussionen und politischen Entscheidungen geführt, dass die Halbleiterlieferketten diversifiziert werden müssten, um die übermäßige Abhängigkeit von der Fertigung in Taiwan und Ostasien zu verringern. Der Mangel an Halbleiterfabriken in den USA und Europa könne sowohl im Zusammenhang mit der nationalen Sicherheit als auch mit der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit betrachtet werden - hier stünden Europa und die USA vor ähnlichen Herausforderungen. Die Schlüsselfrage sei, ob der Aufbau einer größeren Autarkie tatsächlich die langfristige Sicherheit erhöhe und nicht nur die Kosten steigere. Eine der jüngsten politischen Reaktionen sei Bidens **100-Tage-Bericht** über widerstandsfähige Lieferketten, der sich darauf konzentriere, die Chipherstellung in die USA zurückzuholen. Seitdem hätten einige der großen Hersteller wie Intel, Samsung und TSMC den Bau neuer Fertigungsanlagen in den Vereinigten Staaten angekündigt. Auch der Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz, Robert Habeck, habe **32 neue Mikroelektronikprojekte** angekündigt, um die Produktion von Halbleitern nach Deutschland und Europa zurückzuholen. Dies folgte auf die Ankündigung der EU, einen "**European Chips Act**" zu erlassen, um die für die technologische Souveränität wichtige Halbleiterproduktion wieder nach Europa zu holen. Ziel sei es, den Anteil Europas an der weltweiten Mikrochipproduktion von derzeit 9 % auf 20 % zu verdoppeln und die Investitionen bis 2030 um 20-30 Mrd. Euro zu steigern. Die Verlagerung der Halbleiterchipproduktion von Taiwan in die Vereinigten Staaten und nach Europa könne die Branche und die sie umgebende Geopolitik möglicherweise verändern.¹¹⁹

118 S. 43, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

119 Schröder, Patrick (2022), Solutions for resilient semiconductor supply chains, 07.01.2022, <https://www.chathamhouse.org/2022/01/solutions-resilient-semiconductor-supply-chains>.

Kleinhans/Lee (2021) weisen in ihrem Policy Brief „China’s rise in semiconductors and Europe Recommendations for policy makers“ darauf hin, dass die Ausweitung der europäischen Waferherstellung die **nationale Sicherheitsbedrohung nicht verringere**, wenn diese Wafer dann zum Zusammenbau, Test und Verpackung (ATP) **ins Ausland** verschifft würden:

„As of 2019, Europe had less than 5 % of the global ATP capacity and, like the rest of the world, heavily depends on back-end manufacturing in China. This comes with potential national security and technological competitiveness risks for Europe.

National security: Compared to the two previous process steps, chip design and wafer fabrication, packaging processes provide a resource-efficient (skills, cost, time) attack vector to compromise a chip to implement a “kill switch” or hardware backdoor. Although such hacking of a computer on the chip level with a hardware backdoor is significantly more resource-intensive than utilizing software exploits, the advantage of hardware backdoors is their persistence and that they are significantly harder to detect. As government agencies and the military will unavoidably rely to some extent on commercial semiconductor manufacturing, and thus untrusted sources, ensuring supply chain security and trustworthiness of fabs (front-end and back-end) becomes a challenge. One strategy is “Split Manufacturing”: relying on untrusted foundries for wafer fabrication but using trusted back-end fabs for assembly, test and packaging. This also means that expanding Europe’s wafer fabrication does not alleviate the national security threat if those wafers are then shipped to China for assembly, test and packaging.“¹²⁰

Das Institut Montaigne äußert sich in seinem Policy Paper vom Januar 2021 zu „The military end-uses of semiconductor technology“ auf den Seiten 16 und 17.¹²¹

Siehe hierzu auch

European Commission (2022), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Roadmap on critical technologies for security and defence, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/com_2022_61_1_en_act_roadmap_security_and_defence.pdf.

120 Kleinhans, Jan-Peter; Lee, John (2021), China’s rise in semiconductors and Europe Recommendations for policy makers, December 2021, S. 16, https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/chinas_rise_in_semiconductors_and_europe.pdf.

121 The Weak Links in China’s Drive for Semiconductors, <https://www.institutmontaigne.org/resources/pdfs/publications/weak-links-chinas-drive-semiconductors-note.pdf>.

7. Preisbildung von Halbleitern und Prognosen zur Preisentwicklung

Die Preise für Halbleiter setzen sich u. a. aus Materialkosten und der Anzahl der einzelnen Prozessschritte zusammen.¹²²

Die IG Metall betonte im Oktober 2021, insgesamt gesehen seien die **Gewinnmargen bei Halbleitern sehr gering** und zwingen Chiphersteller stetig, an der **Auslastungsgrenze** zu arbeiten, sonst lohne sich ihr Geschäft nicht. Experten sprächen davon, dass eine **Auslastung von unter 90 Prozent bereits kritisch** werde. Zwar führe die gestiegene Nachfrage nun auch zu einer Ausweitung der Produktion bei fast allen Herstellern, doch das dauere – bei ganz neuen Werken bis zu fünf Jahren.¹²³

Bardt et al. (2021) erklärten, aufgrund von langlaufenden Verträgen hielten sich die erwarteten Preissteigerungen von 10 % in 2021 bislang noch in Grenzen. In der Halbleiterindustrie sei jedoch aufgrund der angespannten handelspolitischen Lage sowie aufgrund der strukturellen Nachfrageausweitung, dem geopolitischen sowie dem handelspolitischen Risiko eher mit steigenden Preisen zu rechnen. Angebotsausweitungen seien extrem investitionsintensiv und dürften die Preise allenfalls langfristig wieder einhegen.¹²⁴

Nachfolgend finden sich ausgewählte Medienberichte:

Holtermann, Felix (2022), Preisabsprachen werden untersucht, 26.01.2022, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/halbleitermangel-us-regierung-rechnet-mit-chipkrise-bis-ende-2022-und-will-preisabsprachen-untersuchen/28008130.html>.

Hofer, Joachim (2022), Ein Jahr Lieferzeit, hundertfacher Preis: Chipmangel belastet den Mittelstand, Die Engpässe bei elektronischen Komponenten treffen auch Firmen, die selbst kaum Halbleiter benötigen. Preise und Lieferzeiten steigen deutlich, 07.03.2022, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/technologie-ein-jahr-lieferzeit-hundertfacher-preis-chipmangel-belastet-den-mittelstand/28118284.html>.

Hofer, Joachim (2022), Das Chip-Paradoxon: Warum das Geschäft boomt und die Aktienkurse leiden, Die Chiphersteller verlieren an der Börse massiv an Wert. Investoren fürchten ein

122 https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2010-2/th2010_11_01.pdf; <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/die-entwicklung-des-silizium-wafers-a-887600/#:~:text=Kosten%20f%C3%BCr%20bearbeitete%20Wafer%20%E2%80%93%20sogenannte,850%20Euro%20je%20Wafer.>

123 13. Oktober 2021, <https://www.igmetall.de/politik-und-gesellschaft/wirtschaftspolitik/industriepolitik/chipmangel-selbstgemacht>.

124 Bardt, Hubertus; Diermeier, Matthias; Grömling, Michael; Hüther, Michael; Obst, Thomas (2021), Lieferengpässe und Preisentwicklungen bei Rohstoffen und Vorleistungen: Corona Echo Effekte oder "here to stay"?, IW-Report, No. 27/2021, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Köln, <https://www.economist.eu/bitstream/10419/237048/1/1765947545.pdf>.

Ende des Auftragsbooms und sinkende Preise für Halbleiter, 26.04.2022, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/technologie-das-chip-paradoxon-warum-das-geschaef-boomt-und-die-aktienkurse-leiden/28276104.html>.

Hofer, Joachim (2022), Bis zu zwei Jahre: Kunden müssen immer länger auf Chips warten, Die Halbleiterhersteller erhöhen die Preise kräftig und können trotzdem nicht wie gewünscht liefern. China verschärft die Lage – nicht nur wegen der Lockdowns, 10.05.2022, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/halbleiter-engpaesse-bis-zu-zwei-jahre-kunden-muessen-immer-laenger-auf-chips-warten-/28309374.html>.

SIA (2021) mutmaßt, würde hypothetisch jede größere Region der Welt versuchen, eine "Selbstversorgung" mit Halbleitern auf allen Ebenen der Lieferkette aufzubauen, um 100 % des einheitlichen Halbleiterverbrauchs für alle Anwendungen zu decken, wären auf globaler Ebene schätzungsweise 900 Mrd. bis 1.225 Mrd. US-Dollar an Vorabinvestitionen erforderlich. Und dies abgesehen von den Überlegungen zur Durchführbarkeit und von weiteren notwendigen Investitionen.¹²⁵ Vollständig "autarke" lokale Lieferketten würden erhebliche Mehrkosten verursachen und zu einem Anstieg der Halbleiterpreise um 35 bis 65 % führen.¹²⁶

8. Globale Verfügbarkeit der Grundstoffe zur Herstellung von Halbleitern nach Regionen/Ländern aufgeschlüsselt und Zugriffsmöglichkeiten der deutschen Industrie darauf

Die EU-Kommission (2022) betont, Europa sei Heimat weltweit führender Anbieter von Ausrüstungen und Rohstoffen wie Trägermaterialien und Gasen und merkt an, dass Europa trotz dieser Stärken in Bezug auf bestimmte Werkstoffe wie Fotolacke oder Siliziummetall von Drittländern abhängig sei. Um die Widerstandsfähigkeit bei Rohstoffen zu stärken, habe die EU-Kommission die **Europäische Rohstoffallianz (ERMA)** ins Leben gerufen.¹²⁷ Unter „kritischen Rohstoffen“ versteht die EU dabei die wirtschaftlich wichtigsten Rohstoffe mit hohem Versorgungsrisiko.¹²⁸ Davon sind eine Reihe von Rohstoffen betroffen.¹²⁹

ZVEI erläutert, es gebe fast kein in der Natur vorkommendes Element, das nicht zur Herstellung von Halbleitern verwendet werde, entweder als Prozessrohstoff oder als Produktmaterial. Die **Abhängigkeit** von den **Weltrohstoffmärkten** müsse als gegeben hingenommen werden und könne

125 S. 43f, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

126 S. 45, https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.

127 S. 9, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0045&from=EN>.

128 MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN, Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken, COM (2020) 474 final vom 3.9.2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>.

129 Zur Liste siehe https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_de.

politisch nicht verändert werden, auch wenn es Bestrebungen gebe, mehr Förderung in Europa zu erreichen. Einem Konzept für mehr Autonomie in der Halbleiterproduktion seien damit bereits Grenzen gesetzt. Vielmehr müsse die Notwendigkeit eines verlässlichen, transparenten und verantwortungsvollen Zugangs zu diesen Rohstoffen durch weiterhin offene globale Wertschöpfungsketten berücksichtigt werden. Die freie Verfügbarkeit von Rohstoffen sei nicht nur für die EU-Halbleiterindustrie von großer Bedeutung und sollte ein generelles Ziel der europäischen Außen- und Handelspolitik sein.¹³⁰

Khan et al. (2021) merken an, neben China produzierten auch die **USA und ihre Verbündeten** zusammen einen **beträchtlichen Anteil** an fast allen **Materialien für Halbleiter**. Angesichts der Komplexität der Halbleiterherstellung umfassten die Rohstoffe für diesen Bereich einen großen Teil des Periodensystems. China habe den größten Anteil bei den meisten Materialien und einen bedeutenden Anteil bei allen außer Kobalt (1,4 %) und Platin (0 %). Die USA produzierten eine geringe Menge der meisten Materialien, aber kein Antimon, Arsen, Kohlenstoff, Fluor, Gallium, Indium, Tantal, Tellur, Zinn oder Wolfram. Zusammengenommen produzierten die Vereinigten Staaten und ihre Verbündeten jedoch einen beträchtlichen Anteil aller Mineralien - mit Ausnahme von Chinas Produktionsanteil von 95,7 % bei primärem niedriggradigem Gallium, 83,6 % bei Wolfram und 82,0 % bei Magnesium. China habe einen Produktionsanteil von 64,0 % bei Silizium - dem am häufigsten verwendeten Material -, aber die Vereinigten Staaten und ihre Verbündeten verfügten über große Reserven.¹³¹

Die folgende Liste zeigt die laut IEEE/IRDS in der Chip-Produktion am **häufigsten** während des komplexen Halbleiterherstellungsprozesses **verwendeten Materialien** mit ihren englischen Bezeichnungen:

- **„Silicon (Si):** The most common substance on the planet after carbon, silicon was used for thousands of years to manufacture glass. Silicon’s usefulness as a semiconductor has made it the foundation of the modern semiconductor industry.
- **Alloy 42:** An alloy of iron, nickel, manganese, and cobalt, alloy 42 is used to manufacture lead frames.
- **Aluminum (Al):** Abundant and readily available, aluminum is used to create the wiring that connects semiconductor components; it adheres well to silicon dioxide.
- **Boron (B):** A hard semimetallic element with one less valence electron than silicon, boron is commonly used for doping and the creation of P-type semiconductors.
- **Borophosphosilicate glass (BPSG):** This compound is used to isolate conductive lines and circuit components.
- **Copper (Cu):** A better conductor than gold, copper is used to create lead frames for plastic packages and as metal lines in semiconductor devices.
- **Gallium arsenide (GaAs):** This is a compound semiconductor material made by combining gallium and arsenic. While capable of operating at higher temperatures than silicon,

130 S. 14, https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/November/Halbleiterindustrie_fuer_Deutschland_und_Europa/Semiconductor-Strategy-for-Germany-and-Europe.pdf.

131 Khan et al. (2021), The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness, CSET Issue Brief, January 2021, S. 52f, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

gallium arsenide's use in semiconductor devices is complicated by the toxicity of its compounds.

- **Germanium (Ge):** The first semiconductor material used to create transistors and diodes, germanium has largely been replaced by silicon in the semiconductor-manufacturing process.
- **Gold (Au):** The most malleable of metals, gold conducts heat and electricity well and is often used in wire bonding to connect the integrated circuit to its package leads.
- **Kovar:** An iron-nickel-manganese-cobalt alloy, kovar is used to manufacture lead frames.
- **Lead (Pb):** Lead is used to solder the external leads of integrated circuit packages.
- **Phosphorus (P):** Phosphorus is used as a doping agent, since it surrenders a valence electron when it bonds with silicon.
- **Platinum silicate (PtSi):** This is a substance used as a metal coating between a silicon substrate and metal circuit components.
- **Polysilicon:** A highly pure, polycrystalline form of silicon, polysilicon is used as a conductor and resistor and for MOS gate metallization.
- **Sichrome (SiCr):** This compound of silicon and chromium is used as a film resistor.
- **Silicon dioxide (SiO₂):** This silicon compound is used to isolate layers of an integrated circuit.
- **Silicon nitride (Si₃N₄):** This compound is often used as the final layer of a circuit due to its ability to protect against moisture, corrosion, and physical damage.
- **Silver (Ag):** Silver is a better conductor than copper and gold. It is used to increase thermal and electrical conductivity in circuits while also helping prevent the chemical degradation of die pads and bonding fingers.
- **Spin-on glass:** This glass compound is used to smooth the surface of semiconductor wafers.
- **Tin (Sn):** Like lead, tin is used to solder the external leads of integrated circuit packages.¹³²

Die Bezeichnung Silicon Valley ("Silizium-Tal") für die IT-Hochburg in Kalifornien unterstreicht die Bedeutung des **Siliziums** für die Halbleiter- und Computerindustrie.¹³³ Es wird zwischen technischem bzw. Rohsilizium mit 98 – 99 % Reinheit und **Reinstsilizium** unterschieden, wobei Letzteres „für Anwendungen in der Photovoltaik eine Reinheit von mindestens 99,9999 % und in der **Elektronik von mindestens 99,9999999 %** aufweisen muss. Silizium ist nach Sauerstoff das zweithäufigste Element in der Erdkruste.“¹³⁴ Nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe (BGR), würden allerdings nur **10 %** des **weltweit produzierten Reinstsiliziums** in der **Halbleiterindustrie** eingesetzt.¹³⁵ Die folgende Abbildung zeigt die Länderverteilung bei der Siliziumproduktion:

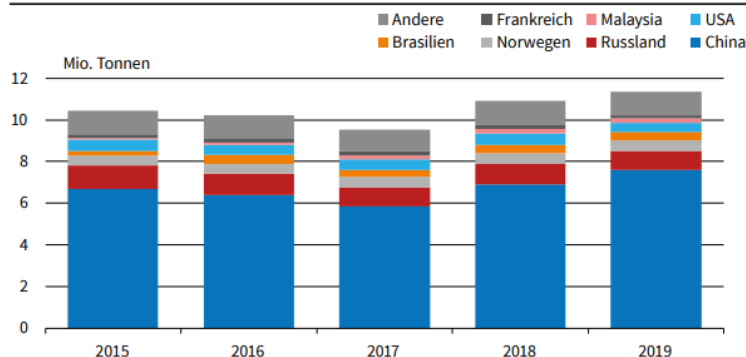
132 <https://irds.ieee.org/topics/semiconductor-manufacturers>.

133 Vgl. <https://www.formteile.ch/silizium.php>.

134 S. 54, , https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_quarz_2016.pdf?_blob=publicationFile&v=6.

135 S. 58, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/studie_quarz_2016.pdf?_blob=publicationFile&v=6.

Länderverteilung der Siliziumproduktion

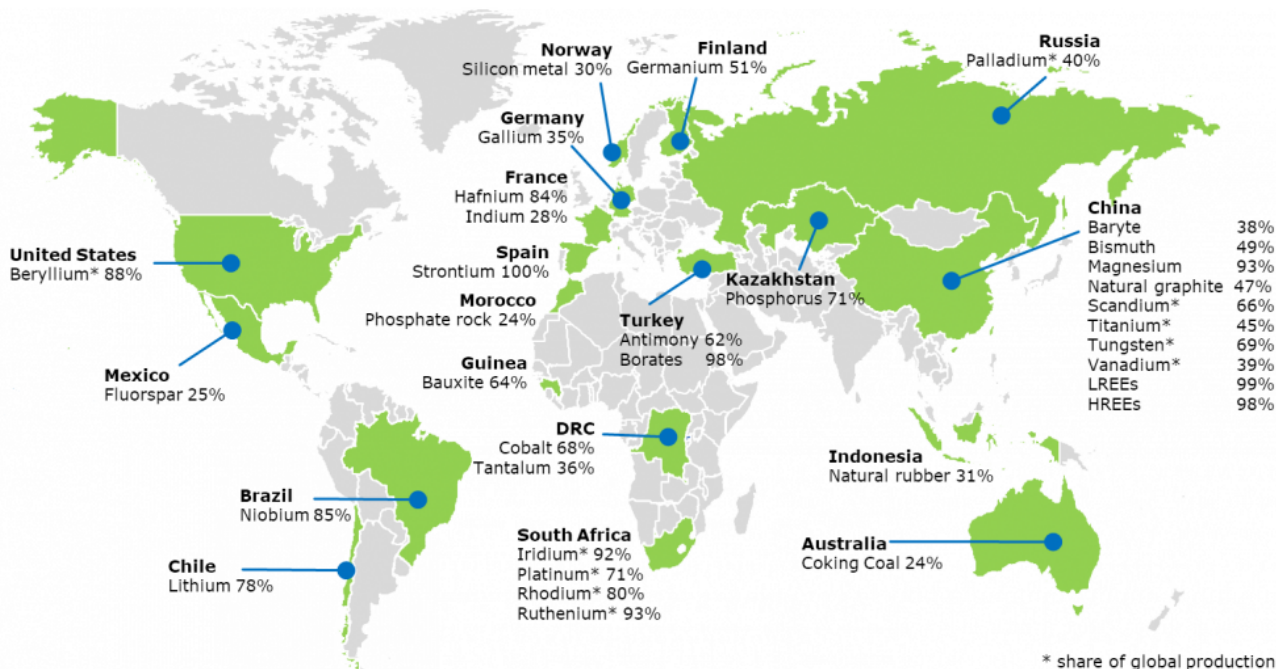


Quelle: USGS Minerals Yearbook 2019.

© ifo Institut Lippelt, Jana et al. (2021).¹³⁶

Die wichtigsten Lieferländer kritischer Rohstoffe (CRMs - Critical Raw Materials) an die EU sind in der Weltkarte abgebildet:

Countries accounting for largest share of EU supply of CRMs



Quelle: EU-Kommission-Online. LREEs - light rare earth elements; HREEs - heavy rare earth elements.¹³⁷

136 Lippelt, Jana et al. (2021), Kurz zum Klima: Silizium – ein Rohstoff, der es in sich hat, ifo Schnelldienst 9/2021, 74. Jahrgang, 15. September 2021. <https://www.ifo.de/publikationen/2021/zeitschrift-einzelheft/ifo-schnelldienst-092021>.

137 EU-Kommission, Critical raw materials, https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_de.

Einzelne **Rohstoffe, Produktionsländer** und **Preise** der einzelnen Materialien für die Halbleiterherstellung können im **interaktiven Rohstoffinformationssystem der Deutschen Rohstoffagentur (DERA)** in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) abgerufen werden:

<https://rosys.dera.bgr.de/mapapps49prev/resources/apps/rosys2/index.html?lang=de>.

Unter dem folgenden Link finden sich weitere relevante Hinweise zu kritischen Rohstoffen, wie z.B. im **Critical raw materials factsheets** vom September 2020 (u. a. zu Silizium, Gallium und Germanium und deren Vorkommen):

https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_de.

Ferner finden sich Informationen zu:

- Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42882>.
- Report on Critical Raw Materials for the EU, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/10010/attachments/1/translations>.
- Annex to the Report on Critical Raw Materials for the EU, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/10010/attachments/1/translations>.

Informationen zu relevanten Chemikalien, Gasen, Seltenen Erden, Mineralien und Metalle für die Halbleiterherstellung und ihre Bezugsquellen, finden sich auch auf den Seiten 18 bis 21 unter dem folgenden Link:

Semi (2021), Defense Industrial Base Division, Office of Technology Evaluation Bureau of Industry and Security U.S. Department of Commerce; Re: SEMI Comments to Risks in the Semiconductor Manufacturing and Advanced Packaging Supply Chain Notice of Request for Public Comments; 86 FR 14308; RIN 0694–XC073; Docket Number BIS-2021-0011, <https://www.regulations.gov/comment/BIS-2021-0011-0053>.

9. Europäische und nationale Maßnahmen im Bereich Halbleiterfertigung

9.1. EU Chip Act

Im Februar 2022 veröffentlichte die EU-Kommission einen „Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für Maßnahmen zur Stärkung des europäischen Halbleiter-Ökosystems (Chip-Gesetz)“. Er findet sich unter dem folgenden Link:

<https://dserver.bundestag.de/brd/2022/0059-22.pdf>.

In der Begründung des Vorschlags heißt es:

„Halbleiter stehen heute im Mittelpunkt starker geostrategischer Interessen und im Zentrum des weltweiten Technologiewettlaufs. Die Staaten sind bestrebt, ihre Versorgung mit hochmodernen Chips zu sichern, da dies zunehmend die Voraussetzung dafür ist, dass sie (wirtschaftlich, industriell und militärisch) handlungsfähig bleiben und die digitale Transformation vorantreiben können. Alle großen Weltregionen investieren bereits in großem Umfang und setzen Unterstützungsmaßnahmen zur Innovation und Stärkung ihrer Produktionsvermögen ein.

Die Union verfügt über die Ressourcen, um auf dem Chipmarkt der Zukunft zu einem Branchenführer zu werden. Ziel der EU ist es, ihren weltweiten Produktionsanteil bis 2030 wertmäßig auf 20 % zu verdoppeln. Es geht nicht nur darum, Abhängigkeiten zu verringern, sondern auch die wirtschaftlichen Chancen zu nutzen, da sich der Weltmarkt für Halbleiter vor Ende des Jahrzehnts voraussichtlich verdoppeln wird [...].“¹³⁸

Siehe hierzu auch:

ANHÄNGE des VORSCHLAGS FÜR EINE VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Schaffung eines Rahmens für Maßnahmen zur Stärkung des europäischen Halbleiter-Ökosystems (Chip-Gesetz), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CONSIL:ST_6170_2022_ADD_1&from=DE.

EU-Kommission (2022), Europäisches Chip-Gesetz – Fragen und Antworten, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/QANDA_22_730

Europäische Kommission (2022), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Ein Chip-Gesetz für Europa, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0045&from=EN>.

9.2. EU-US Trade and Technology Council

In einem Briefing zum **EU-US Trade and Technology Council** (TTC) zur **Zusammenarbeit** von **Europa** und den **USA** informierte der EPRS im September 2021: Die wichtigste Lieferkette von gemeinsamem Interesse im Rahmen des TTC sei die der Halbleiter. Europa sei beim Halbleiter**design** und den dazugehörigen Entwurfswerkzeugen stark von den USA abhängig, während beide Partner bei der **Herstellung** modernster Chips stark auf Asien angewiesen seien. Die **EU** habe jedoch eine **starke Position** in bestimmten Teilsegmenten wie **diskreten Halbleiter** (weltweit führend beim Umsatz), **analoger integrierter Schaltungen**, **Mikrocontrollern**, **Leistungselektronik**, **Sensoren**, **Chip-Architektur** und **fortschrittlichen Chip-Herstellungsanlagen**. Europa sei auch gut positioniert bei Produkten, die aus einer **Mischung von Halbleitern** bestünden sowie bei speziellen Prozessoren für Anwendungen im Automobil- und Industriesektor (einschließlich Maschinen), für die in Zukunft ein erhebliches Wachstum erwartet werde. Es bestehe also ein Potenzial für Komplementaritäten und Synergien. Angesichts des weltweiten Mangels an Halbleitern hätten beide Seiten Maßnahmen ergriffen, um die Situation zu verbessern. Die EU strebe an, bis 2030 einen Anteil von 20 % (wertmäßig) an der weltweiten Produktion von "hochmodernen und

138 S. 2, <https://dserver.bundestag.de/brd/2022/0059-22.pdf>.

nachhaltigen Halbleitern" zu erreichen, und habe die **Mikroelektronik** als einen der wichtigsten Investitionsbereiche zur Konjunkturbelebung ermittelt. Die USA erwägten auch eine deutliche Erhöhung der Investitionen in die Branche und die Nutzung der gemeinsamen F&E-Möglichkeiten mit wichtigen **Partnern** wie **Taiwan, Europa, Japan**¹³⁹ und **Südkorea**. Auf dem Gipfeltreffen zwischen der EU und den USA im Juni 2021 verpflichteten sich danach beide Seiten zum Aufbau einer Partnerschaft, die darauf abziele, die globalen Lieferketten für Halbleiter wieder ins Gleichgewicht zu bringen und die Versorgungssicherheit sowie die Fähigkeit zur Entwicklung und Herstellung der "leistungsfähigsten und ressourceneffizientesten Halbleiter" zu verbessern.¹⁴⁰

Ferner wird kursorisch auf folgende amerikanische Initiativen hingewiesen: Executive Order on America's Supply Chains¹⁴¹ vom 24. Februar 2021, und der sog. **100-Tage-Bericht**¹⁴² im Juni 2021.

9.3. Weitere ausgewählte politische Maßnahmen

9.3.1. Alliance on Processors and Semiconductor technologies

Die EU-Kommission schreibt auf ihrer Internetseite zur **Alliance on Processors and Semiconductor technologies**, die im Juli 2021 ins Leben gerufen wurde und die Automobilindustrie, die industrielle Automatisierung, das Gesundheitswesen und KI-gestützte Systeme unterstützen soll:

Die beiden Hauptanliegen der Alliance sollten die größten Lücken schließen, mit denen Europa konfrontiert sei:

139 „Die Regierungen der USA und Japans planen ein gemeinsames Liefernetz für Halbleiter, noch in diesem Jahr wird Washington dazu ein Indo-Pacific Economic Framework gründen – eine Initiative, um die wirtschaftliche Abhängigkeit von China zu verringern.“ Quelle: Kölling, Martin (2022), Japan wird zum Pionier, 05.04.2022, Handelsblatt, Seite 14.

140 EPRS (2021), EU-US Trade and Technology Council, New forum for transatlantic cooperation, Briefing, September 2021, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698037/EPRS_BRI\(2021\)698037_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698037/EPRS_BRI(2021)698037_EN.pdf).

141 Executive Order (E.O.) 14017, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/02/24/executive-order-on-americas-supply-chains/>.

142 Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering Broad-Based Growth, 100-Day Reviews under Executive Order 14017, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>.

Siehe hierzu auch :

U.S. Department of Energy (2022), America's Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition, U.S. Department of Energy Response to Executive Order 14017, "America's Supply Chains", 24.02.2022, https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/America%20E2%80%99s%20Strategy%20to%20Secure%20the%20Supply%20Chain%20for%20a%20Robust%20Clean%20Energy%20Transition%20FINAL.docx_0.pdf.

U.S. Department of Commerce (2022), Results from Semiconductor Supply Chain Request for Information, January 25, 2022, <https://www.commerce.gov/news/blog/2022/01/results-semiconductor-supply-chain-request-information>.

Stärkung des europäischen Elektronikdesigns: Entwurf von Spitzenknoten und Open-Source-Hardwarelösungen, die zur Entwicklung leistungsfähiger und ressourceneffizienter Prozessoren beitragen.

Aufbau der erforderlichen Fertigungskapazitäten: In Europa sollten die Herstellung von Technologien von 16 nm bis 10 nm sowie von 5 nm bis 2 nm und darüber hinaus parallel entwickelt und vorbereitet werden. Es handele sich hierbei um fortschrittliche Halbleiter, die sowohl die Leistung steigerten als auch den Energieverbrauch von Telefonen bis hin zu Rechenzentren massiv senkten.¹⁴³

9.3.2. Rahmenprogramm „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa“

Siehe hierzu die Unterrichtung durch die Bundesregierung, Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2021 bis 2024, Mikroelektronik – Vertrauenswürdig und nachhaltig – Für Deutschland und Europa, 13.11.2020, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/245/1924557.pdf>.

Hierzu erklärte die Bundesregierung im Februar 2021, es solle die nationale Abhängigkeit von Importen höherwertige Prozessoren verringern:

„Dies insbesondere durch Förderung von Forschung für das **Design** von Spezialprozessoren – auch mit neuen Architekturen in höheren Leistungsklassen und für Anwendungen der Künstlichen Intelligenz optimiert [...] Die Abhängigkeiten verringern soll auch die Erforschung neuer Ansätze, in denen Europa von Anfang an technologisch souverän sein kann: wie der neuromorphen, also der Funktionsweise des Hirns nachempfundenen Elektronik oder der Elektronik mit neuartigen Materialien. Insbesondere diese Forschungsgebiete unterstützt die Bundesregierung durch die Investitionsprogramme ‘Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland’ und ‘Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland’“¹⁴⁴

Das Programm ist im Einklang mit dem europäischen Forschungsrahmenprogramm **Horizon Europe** konzipiert, das ebenfalls auf Souveränität in digitalen Technologien setzt.¹⁴⁵

9.3.3. Important Projects of Common European Interest (IPCEI)

Das Instrument des **Important Project of Common European Interest (IPCEI)**, so erläutert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), sei ein europäisches Förderinstrument, mit dem europäische strategische Investitionsprojekte durch die jeweiligen Mitgliedstaaten gefördert werden könnten. Die überwiegend privatwirtschaftlich finanzierten Projekte würden

143 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/alliance-processors-and-semiconductor-technologies>.

144 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Industriepolitische Bedeutung der Mikroelektronik und Wirksamkeit von Fördermaßnahmen, 25.02.2021, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/270/1927072.pdf>.

145 S. 7, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/245/1924557.pdf>.

durch die Förderung unterstützt, um komplexe investitionsintensive Entwicklungsvorhaben schneller auf den Weg zu bringen. Voraussetzung für eine Förderung sei, dass die Projekte den strategischen Zielen der Europäischen Union folgten, mehrere europäische Mitgliedstaaten beteiligt seien und positive Effekte (Spill-over-Effekte) auf den jeweiligen Binnenmarkt erwarten ließen. Die Förderung erfolge durch die jeweiligen Mitgliedstaaten - nicht durch die EU - und finde in Einklang mit dem EU-Beihilferecht statt.¹⁴⁶

Für Details zum derzeit laufenden **IPCEI Mikroelektronik** und zum zweiten **IPCEI Mikroelektronik und Kommunikationstechnologien** siehe unter:

IPCEI Mikroelektronik: Zwei europäische Großprojekte für eine Schlüsseltechnologie der Zukunft, https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/I/infopapier-ipcei-mikroelektronik.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

Zum **IPCEI on Microelectronics** und weiteren Projekten (Horizon Europe – Key Digital Technologies Partnership (KDT) und zum Microelectronics Framework Programme) siehe auch unter

ZVEI (2021), Discussion Paper Semiconductor Strategy for Germany and Europe The current situation, analysis, and goals, S. 9f., https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2021/November/Halbleiterindustrie_fuer_Deutschland_und_Europa/Semiconductor-Strategy-for-Germany-and-Europe.pdf.

9.3.4. Digitaler Kompass 2030

Die EU-Kommission schlägt in ihrer Mitteilung Digitaler Kompass für 2030 Folgendes vor:

„Produktion hochmoderner und nachhaltiger **Halbleiter in Europa, mit Prozessoren, die wertmäßig mindestens 20 % der Weltproduktion** ausmachen, d. h. Fertigungskapazitäten unterhalb einer Knotengröße von 5 nm (Ziel: 2 nm) zur Produktion zehnmals energieeffizienterer Prozessoren als heute.“¹⁴⁷

Siehe auch: Sahin, Kaan (2021), Der Digitale Kompass - gute Ansätze, diffuse Ziele. (DGAP Kommentar, 10), Berlin: Forschungsinstitut der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik e.V., https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/73504/ssoar-2021-sahin-Der_Digitale_Kompass_-_gute.pdf?sequence=1&isAllowed=y&lnkname=ssoar-2021-sahin-Der_Digitale_Kompass_-_gute.pdf.

146 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/12/20211220-32-mikroelektronik-projekte-in-den-startlochern.html>.

147 Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschaft- und Sozialausschuss der Regionen, Digitaler Kompass 2030: der europäische Weg in die digitale Dekade, Brüssel, den 9.3.2021 COM(2021) 118 final, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF und den ANHANG zur Mitteilung, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_2&format=PDF.

10. Glossar

ATP – assembly, test and packaging

Core IP bzw. **IP-core** – intellectual property core

DAO – diskrete, analoge und andere Chips

Die (Dice) – Chip-Rohling

Dotierung – „Dotieren nennt man den Vorgang, bei dem hochreines Halbleitermaterial mit Fremdatomen kontaminiert wird, deren chemische Wertigkeit anders ist als die des Halbleitermaterials. Die Fremdatome werden dabei durch Ionenbeschuss oder Diffusion in die kristalline atomare Halbleiterstruktur eingefügt. Wenn die eingefügten Fremdatome mehr Elektronen in ihrem Valenzband haben als das Halbleiteratom, spricht man von Donatoren oder Dotieratomen.“
<https://www.itwissen.info/Dotierung-doping.html>.

DRAM – Dynamic random-access memory; (“short-term” memory for computing devices¹⁴⁸)

EDA – electronic design automation, Design der Chips¹⁴⁹

EUV (EUVL) – Extrem-Ultraviolett-Lithografie¹⁵⁰, „Seit Jahrzehnten besteht eine enge Kooperation zwischen Zeiss (Deutschland) und ASML (Niederlande); gemeinsam sind die beiden Unternehmen Weltmarktführer auf dem Gebiet der Belichtungsmaschinen für die Halbleiterstrukturierung (Lithographiestepper). [...] sie [haben] maßgeblich die Entwicklung zu immer kleineren Halbleiterstrukturgrößen vorangetrieben und sind jetzt der weltweit einzige Anbieter von neuartigen EUV-Steppern für die kleinsten machbaren Strukturgrößen.“¹⁵¹

148 https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

149 „EDA firms make the specialized software that is used to design all semiconductor devices. The three largest EDA companies are Cadence (U.S.), Synopsys (U.S.), and Mentor Graphics (Germany).“
<https://sgp.fas.org/crs/misc/R46581.pdf>

150 „Extreme ultraviolet lithography, (EUVL) or (EUV), is the next generation lithography technology that uses a range of extreme ultraviolet (EUV) wavelengths, roughly spanning a 2% FWHM bandwidth about 13.5 nm. It is expected that this technology will significantly advance photolithography, which is one of the crucial steps in semiconductor manufacturing. With EUV technology, the photolithography step is performed by utilizing a light source with an extreme ultraviolet wavelength, thus enabling finer patterns compared to previous methods.“ http://www.dcmsme.gov.in/white_paper/2.%20Whitepaper-ESDM%20Sector-Year%201.pdf.

151 S. 18, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/245/1924557.pdf>.

Fabless – sind auf die Entwicklung fokussiert „‘fabless‘ companies focus on the **research and design** of semiconductors, or, for example the electronic design and automation (EDA) software tools needed to design integrated circuits. These companies do not do any manufacturing.“¹⁵²

Foundries (Auftragsfertiger) – „specialize solely in fabricating (hence they are also known as “fabs”). A manufacturing foundry’s operating model depends on contracts with design firms to perform fabrication.“¹⁵³

GPU - Grafikchips

IC – integrated circuit

IDM – Integrated Device Manufacture, IDMs entwickeln, produzieren und vermarkten selbst.

IoT – Internet of Things

IP-core – intellectual property core

MOSFET – metal-oxide-semiconductor field-effect transistor

MEMS – Mikro-Elektro-Mechanische Systeme

MOEMS – Mikro-Opto-Elektro-Mechanische Systeme

NAND – “long-term” memory for computing devices¹⁵⁴

OEM/ODM – „Finally, when a microchip completes its journey through the semiconductor global value chain, it will be delivered to an original equipment manufacturer (OEM) or original design manufacturer (ODM) such as Apple, Oracle, BMW or Airbus – where it is incorporated into everything from smart phones, IoT infrastructure, autonomous vehicles and aircraft navigation software. Often, original equipment manufacturers use contract manufacturers for the fabrication of their products, which adds more complexity and interconnectedness to the end of the value chain.“¹⁵⁵

OSAT – outsourced semiconductor assembly and test

152 HINRICH FOUNDATION REPORT – SEMICONDUCTORS AT THE HEART OF THE US-CHINA TECH WAR, <https://research.hinrichfoundation.com/hubfs/Capri%20Report%20-%20Jan%202020/Hinrich%20Foundation%20report-US%20China%20tech%20war%20and%20semiconductors-Jan%2023.%202020.pdf>.

153 <https://research.hinrichfoundation.com/hubfs/Capri%20Report%20-%20Jan%202020/Hinrich%20Foundation%20report-US%20China%20tech%20war%20and%20semiconductors-Jan%2023.%202020.pdf>.

154 https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.

155 <https://research.hinrichfoundation.com/hubfs/Capri%20Report%20-%20Jan%202020/Hinrich%20Foundation%20report-US%20China%20tech%20war%20and%20semiconductors-Jan%2023.%202020.pdf>.

OSD – optoelectronic, sensors, and discretres

SiC – silicon carbide

SoC – System-on-a-Chip (Ein-Chip-Systeme)

STEM – Science, technology, engineering, and math.

Wafer – in der Regel dünne Siliziumscheiben; sie werden aber auch aus anderen Materialien gefertigt.¹⁵⁶

Wide-Bandgap-Halbleiter, auch (WGB)-Halbleiter – „Halbleiter, die wegen ihrer größeren Bandlücke leistungsfähiger sind als herkömmliche Silizium-Halbleiter. Sie werden bei besonderen Anforderungen wie z. B. für rauscharme Verstärker und Hochfrequenzverstärker eingesetzt. Der Vorteil von WGB-Halbleitern sind geringere Verluste bei Schaltreglern; die Möglichkeit höhere Spannungen, Temperaturen und Frequenzen auszuhalten; und die erhöhte Zuverlässigkeit. Die größere Bandlücke erlaubt auch die Anwendung für optische Strahler im kurzwelligeren (sichtbaren) Licht, beispielsweise für Leuchtdioden (LEDs) mit den Farben Blau oder Ultraviolett.“¹⁵⁷

* * *

156 <https://www.halbleiter.org/lexikon/W/Wafer/> .

157 S. 14, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/245/1924557.pdf>.