

Die Geostrategie der Computerchips (Halbleiter)

23.10.2022

Zusammenfassung

Nachdem lange Zeit die Vorstellung des Cyberspace als virtueller Welt dominierte, setzt sich in Sicherheitskreisen ein immer physischeres Verständnis durch: wer die Geräte und die Leitungen kontrolliert, der kontrolliert auch die darin befindlichen Daten. Inzwischen wurde erkannt, dass die Produktion von Computern und digitalen Geräten kritische Engpässe aufweist und dass die Kontrolle kritischer Elemente wie seltener Metalle und Halbleiter (Computerchips, Rechenchips, Mikroprozessoren) als Kernelement digitaler Geräte für geostrategische Zwecke genutzt werden kann. Ohne fortschrittliche Chips wird der weitere Fortschritt der Digitaltechnik verlangsamt oder ist sogar unmöglich. Aus diesem Grund hat ein intensiver Wettbewerb zwischen den USA und China stattgefunden. Die Marktanalyse zeigt, dass die USA und ihre asiatischen Verbündeten (Japan, Südkorea und Taiwan) die meisten Schritte der Chipproduktion dominieren, während China die Materialien kontrolliert, die für die Produktion der umgebenden Computer und digitalen Geräte benötigt werden, die seltenen Erden.

Seit 2018 haben die Vereinigten Staaten schrittweise den Export von Halbleitern und zugehöriger Fertigungsausrüstung nach China eingeschränkt. Unter anderem konnten die Vereinigten Staaten den Verkauf der sogenannten EUV-Technologie an China blockieren, was es für China zukünftig sehr schwierig oder sogar unmöglich machen könnte, fortschrittliche Chips (und damit fortschrittliche Computer) herzustellen. Am 07. Oktober 2022 wurden diese Beschränkungen erheblich ausgeweitet, um Chinas Fähigkeit einzuschränken, fortschrittliche Computerchips zu erwerben, Supercomputer zu entwickeln und zu warten und fortschrittliche Halbleiter herzustellen. Dieser Schritt könnte Chinas technologische Entwicklung für Jahre erheblich verlangsamen und China steht nun vor harten strategischen Alternativen und Entscheidungen.

Inhalt

1 Einführung.....	3
2 Computerchips (Halbleiter).....	3
2.1 Einführung.....	3
2.2 Technische Grundlagen.....	3
2.3 Chipproduktion.....	4
2.4 Der Chip-Markt.....	5
3 Der Wettbewerb zwischen den USA und China.....	7
4 Diskussion und Schlussfolgerung.....	10
5 Literatur.....	11

1 Einführung

Nachdem lange Zeit die Vorstellung des Cyberspace als virtueller Welt dominierte, setzt sich in Sicherheitskreisen ein immer physischeres Verständnis durch: wer die Geräte und die Leitungen kontrolliert, der kontrolliert auch die darin befindlichen Daten. Die physische Datenkontrolle soll auf verschiedene Weise (wieder-)erlangt werden, nämlich durch physischen Systemzugang, Bildung von Cyberinseln und Herausdrängen von ausländischen Firmen aus der eigenen Sicherheitsarchitektur.

Inzwischen wurde erkannt, dass die Produktion von Computern und digitalen Geräten kritische Engpässe aufweist und dass die Kontrolle kritischer Elemente wie seltener Erden und Halbleiter (Computerchips, Rechenchips, Mikroprozessoren) als Kernelement jedes digitalen Geräts für geostrategische Zwecke genutzt werden kann.

2 Computerchips (Halbleiter)

2.1 Einführung

Chips sind beispielsweise unerlässlich für PCs und Server in Rechenzentren (einschließlich Speicherchips), Video- und Grafikverarbeitung und -anzeige, Server, Tablets, Mobiltelefone, Automobile, digitale Fernsehgeräte, Set-Top-Boxen, Spielkonsolen, medizinische Geräte und tragbare Systeme, drahtlose Netzwerke, militärische Systeme und andere industrielle Anwendungen¹.

Der Wert des globalen Chipmarktes betrug im Jahr 2021 rund 550 Milliarden US-Dollar mit den führenden Sektoren Computing, einschließlich Personal Computer (PCs) und Rechenzentrumsinfrastruktur (32 %), Kommunikation, einschließlich Mobiltelefone und Netzwerkinfrastruktur (31 %), und Unterhaltungselektronik (12%)².

Die COVID-19-Krise mit sich ändernden Industrie- und Verbrauchieranforderungen, Produktionsrückgängen und Transport-/Logistikunterbrechungen führte zu einer Halbleiterknappheit, die zeigte, dass alle großen Industrien und Mächte durch den eingeschränkten Zugang zu modernen Halbleitern stark gefährdet sind.³

2.2 Technische Grundlagen

Halbleitermaterialien wie Silizium und Germanium ermöglichen es, den Stromfluss in bestimmte Richtungen zu lenken. Da Bits und Bytes elektromagnetische Zustände sind, ermöglichen diese Materialien das Speichern, Verschieben und Verarbeiten von Daten, die die Grundlage aller Computer bilden.

Halbleiter werden auch als Computerchips oder Chips oder Mikroprozessoren bezeichnet. 1958 wurde der integrierte Schaltkreis erfunden, bei dem zahlreiche kleine Elemente wie Transistoren als ein einziges integriertes Gerät auf einem einzigen Stück Halbleitermaterial „gedruckt“ (graviert) und verbunden werden konnten. Der erste Schritt besteht darin, runde Platten, die **Wafer**, herzustellen, die typischerweise einen Durchmesser von 300 Millimetern haben (was eine hohe Reinheit und eine staubfreie Umgebung erfordert). Auf diesem werden dann die Chipdesigns in einer Abfolge von mehr als 250 fotografischen und chemischen Bearbeitungsschritten platziert⁴.

Je kleiner die Elemente auf den Chips sind, desto schneller und effizienter können der Chip und der umgebende Computer arbeiten. Die fortschrittlichsten Chips haben typischerweise Elemente mit einer Größe von 7 oder 10 Nanometern. Die *Taiwan Semiconductor*

¹ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

² vgl. EU 2022

³ vgl. EU 2022, Sargent Jr./Sutter 2022

⁴ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2016 and 2020

Manufacturing Company TSMC kann sie mit einer 5-Nanometer-Technologie herstellen, in naher Zukunft werden 3-Nanometer-Chips erwartet; bei den fortschrittlichsten Chips liegt der Marktanteil Taiwans im Jahr 2022 bei 92%⁵. Vereinfacht ausgedrückt steht jeder Fortschritt im Nanometerbereich für eine neue Chipgeneration und damit für eine neue Generation von Computern und digitalen Geräten.

Das „Drucken“ oder Gravieren kleinster Elemente erfordert spezielle Maschinen und für die fortschrittlichsten Chips ist eine einzigartige Technologie namens **Extrem-Ultraviolett (EUV)-Lithografie** erforderlich, die nur von einem (!) Unternehmen, der niederländischen *ASML Holdings*, bereitgestellt wird. Die EUV-Lithografie ist komplex und lässt sich nicht einfach kopieren: Zinntröpfchen werden in ein Vakuum geworfen, mit starken Lasern beschossen und zu Plasma verdampft, das dann EUV-Licht mit der Zielwellenlänge emittiert⁶.

Die beiden großen Cybermächte USA und China haben erkannt, **dass die Fähigkeit zur Herstellung fortschrittlicher Chips ein strategischer Schlüsselfaktor ist**. Ohne fortschrittliche Chips wird der weitere Fortschritt der Digitaltechnik verlangsamt oder ist sogar unmöglich. Aus diesem Grund hat ein intensiver Wettbewerb zwischen den USA und China eingesetzt.

2.3 Chipproduktion

Die Chipproduktion wird von spezialisierten Unternehmen und einige Produktionsschritte nur von sehr wenigen Unternehmen kontrolliert, was weitere strategische Abhängigkeiten und Schwachstellen schafft.

Produktionsschritte sind:⁷

- Design: Hier sind Forschung und Entwicklung (F&E) und die Kontrolle von Patenten (**Intellectual Property IP**) unerlässlich, die auch von spezialisierten Designfirmen kommen können. Aufgrund der extremen Komplexität kann das Design nicht mehr von Menschen allein durchgeführt werden, es erfordert Design-Software (genannt **Electronic Design Automation, oder EDA**, Software).
- Front-End-Fertigung („Chip-Herstellung“), dies ist die Herstellung mikroskopisch kleiner elektrischer Schaltungen auf Siliziumwafern. Diese produzierenden Einheiten werden „fabs“ (kurz von „fabrication“) genannt. Dieser Schritt erfordert die Bereitstellung von Materialien (einschließlich der „Wafer“) und Halbleiterfertigungsanlagen (**semiconductor manufacturing equipment SME**) wie die oben erwähnten EUV-Maschinen.
- Back-End-Fertigung: Die Wafer werden in einzelne Chips geschnitten, diese werden dann nach Bedarf zusammengestellt und mit Kunststoff umhüllt. Bevor sie in Computer eingebaut werden, werden Qualitätstests auf Fehler durchgeführt. Ein Standardbegriff für diese Aktivitäten ist Backend Assembly, Testing and Packaging (ATP). ATP ist arbeitsintensiv und wird von ausgelagerten Halbleitermontage- und Testfirmen (**outsourced semiconductor assembly and test OSAT**) durchgeführt.

Mittlerweile gibt es zwei Serienmodelle. Einige wenige Unternehmen führen noch alle Produktionsschritte als **Integrated Device Manufacturers (IDMs)** mit eigenen Fertigungsstätten („Fabs“) durch. Andere Chipfirmen sind „fabless“ (deutsch: fabriklos), was bedeutet, dass sie Halbleiter entwickeln und vermarkten, aber die Produktion an „Foundries“ vergeben, die Halbleiter für sie herstellen. Die taiwanesishe TSMC ist die weltweit führende Foundry (deutsch: Gießerei). Aus strategischer Sicht erlaubt das integrierte IDM-Modell viel mehr Kontrolle und Autonomie, aber das Fabless/Foundry-Modell erschien rentabler und ist

⁵ vgl. Bost 2022

⁶ vgl. Eurasia Group 2020

⁷ vgl. Kahn et al. 2021, Platzer/Sargent Jr. 2016 and 2020

mittlerweile dominant. Infolgedessen sank der weltweite US-Anteil an der Halbleiterfertigungskapazität von 40 % im Jahr 1990 auf 12 % im Jahr 2020.⁸

2.4 Der Chip-Markt

Die Marktanalyse zeigt, dass **die USA und ihre asiatischen Verbündeten (Japan, Südkorea und Taiwan) die meisten Produktionsschritte dominieren**, was China anfällig für US-Gegenmaßnahmen gegen Chinas Aufstieg in der digitalen Welt macht. Aber auch Europa hat mit wenigen Ausnahmen nur geringe Marktanteile, typischerweise weniger als 10%.⁹ Chinas Schwachstellen umfassen die Fertigungsausrüstung (SME), Designsoftware (EDA), wichtige Patente (Kern-IP) und bestimmte Materialien, die in der Fertigung verwendet werden:¹⁰

- **Design:** Die fortschrittlichsten Chips werden von US-Unternehmen wie *Apple, Google, Intel, AMD, Nvidia* und *Qualcomm* entwickelt¹¹. Sieben der Top 10 Fabless-Halbleiterdesignfirmen wie *Broadcom, Qualcomm* und *Nvidia* befinden sich in den USA, während die anderen drei ihren Hauptsitz in Taiwan haben.
- **Wafer:** 90% der weltweiten Siliziumwafer-Produktion wird von nur fünf Firmen kontrolliert, davon 60% von den japanischen Firmen *Shin-Etsu* und *Sumco*.
- Die integrierte **IDM-Fertigung** wird von US-Firmen mit 51% der gesamten globalen IDM-Einnahmen dominiert, gefolgt von Südkorea (28%) und Japan (11%).
- Die Halbleiterfertigungsanlagen (SME) werden von nur fünf Firmen mit rund 75% Weltmarktanteil dominiert, dies sind die US-Firmen *Applied Materials, Lam Research Corporation* und *KLA Corporation*, die niederländische Firma *ASML* (die ein Monopol für EUV-Maschinen hat¹²) und die japanische Firma *Tokyo Electronics*.
- **Chipproduktion:** Nur die taiwanische *TSMC*, die US-Firma *Intel* und die südkoreanische *Samsung* können derzeit die fortschrittlichsten Halbleiterchips mit Elementen (Transistoren) von 10 Nanometern oder kleiner produzieren. Im Jahr 2020 stellten nur *TSMC* und *Samsung* Chips mit 5 Nanometern her, während *Intel* noch auf 7-Nanometer-Niveau war. Im Jahr 2022 stößt China auf die 7-Nanometer-Ebene vor¹³. In Europa gibt es keine Foundries, die die Herstellung von Komponenten unter 22 Nanometern anbieten¹⁴.
- **Foundries:** Bei Computerchips wird der Markt von Taiwan und Südkorea dominiert. Taiwan hat einen Weltmarktanteil von 64%, die *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company TSMC* allein schon von 50%, bei den fortschrittlichsten Chips liegt der Marktanteil Taiwans sogar bei 92%. *TSMC* hat eine Produktionsstätte in China, produziert dort aber nur weniger fortschrittliche Chips von 16 und 28 Nanometern¹⁵. Südkorea ist der zweitgrößte Anbieter, während China weniger als 10% Marktanteil hat¹⁶.
- **ATP:** Taiwanische Unternehmen erzielen 54% der weltweiten ausgelagerten ATP-Einnahmen, gefolgt von Unternehmen mit Sitz in den Vereinigten Staaten (17%) und China (12%).

⁸ vgl. Sargent Jr./Sutter 2022

⁹ vgl. EU 2021 and 2022

¹⁰ vgl. Khan 2021

¹¹ vgl. Cronin 2022

¹² vgl. DoD 2022. Aber selbst ASML hat wiederum eigene Abhängigkeiten. So wird die Lasertechnologie von der deutschen Firma Trumpf geliefert, die Spiegel von Zeiss; vgl. Smolka/Theile 2022

¹³ vgl. Ankenbrand/Finsterbusch 2022, Welter 2022

¹⁴ vgl. EU 2021

¹⁵ vgl. Ankenbrand et al. 2022

¹⁶ vgl. Bost 2022

Zusammenfassend sind die **wichtigsten Engpässe** in der Halbleiter-(Chip-)Produktion die Firmen **TSMC und ASML**¹⁷.

Auf der anderen Seite **kontrolliert China die Materialien, die für die Produktion der umgebenden Computer und digitalen Geräte benötigt werden, die seltenen Metalle bzw. seltenen Erden:**

China ist der wichtigste Produzent von physischer Elektronik in Computern und Smartphones, selbst US-Firmen lagern ihre Produktion oft nach China aus. Das ist sinnvoll, da China der Haupteigentümer von computerrelevanten Metallen ist. Daher produziert China 75 Prozent der Mobiltelefone und 90 Prozent aller PCs weltweit, da selbst US-Unternehmen diesen Produktionsschritt nach China auslagern.

China besaß 2010 einen 97%igen Marktanteil¹⁸ an seltenen Erden (speziellen Industriemetallen wie Niob, Germanium, Indium, Palladium, Kobalt und Tantal), die für die IT- und Elektronik-Industrie unersetzlich sind und die bisher nicht hinreichend wirtschaftlich recycelt können. Der hohe Marktanteil kam durch die zunächst konkurrenzlos billigen Lieferungen aus China zustande, weshalb andere Marktteilnehmer aufgaben; die Exploration außerhalb Chinas wurde unter Hochdruck wieder aufgenommen und hat zu sinkenden Preisen geführt.

Die USA haben im Jahr 2019 35 Rohstoffe als kritisch identifiziert, aber weisen bei 14 dieser Rohstoffe keine eigene Produktion auf. Bei den seltenen Erden hatte China im Jahr 2019 71% Marktanteil und 37% der Reserven, wobei Vietnam und Brasilien mit je 18% Reserven zukünftige Ausweichförderstaaten darstellen könnten.¹⁹ Um die Widerstandsfähigkeit bei Rohstoffen zu stärken, hat die Europäische Kommission die *European Raw Materials Alliance (ERMA)* gegründet²⁰.

Auf der anderen Seite dominieren die USA das Infrastrukturniveau der zentralen Server und der Tiefseekabel. In der physischen Welt ist das Internet immer noch an ein physisches Netzwerk mit einem signifikanten Zentralisierungsgrad gebunden. Das US-amerikanische Unternehmen *Equinix* steuert laut Firmenwebseite mit eigenen IXPs und Co-Location von Client-Computern in ihren Rechenzentren rund 90% (!) der Datenübertragung des Internets. US-Technologieunternehmen kontrollieren derzeit mehr als 50 % der Tiefseekabel, die derzeit 95 % aller Internetdaten übertragen. Derzeit gibt es 400 Kabel mit 1,3 Millionen km Länge und bis 2025 sind 45 weitere Kabel geplant.

Jetzt treten neue globale Akteure auf, z. B. China mit dem *Pakistan and East Africa connecting Europe (Peace) Cable* von China über Land nach Pakistan, dann im Meer nach Frankreich²¹. Von 2016 bis 2019 waren chinesische Unternehmen an rund 20 % aller Tiefseekabelprojekte beteiligt²².

China engagiert sich in diesem Bereich auch im Rahmen von *Chinas digitaler Seidenstraße*. Chinesische Unternehmen wie die *Hengtong*-Gruppe und ihre Tochtergesellschaften wie *Hengtong Marine* und *Huawei Marine* gewinnen bei Investitionen, Bau, Besitz und Betrieb von Unterseekabeln zunehmend an Bedeutung²³. Westliche Staaten versuchen, eine Beteiligung chinesischer Unternehmen zu vermeiden, während China versucht, *Google*-eigene Kabel nach Möglichkeit zu stoppen.

¹⁷ vgl. DoD 2022

¹⁸ vgl. Büschemann/Uhlmann 2010, S.19

¹⁹ vgl. FAZ 2019, p.17

²⁰ vgl. EU 2022

²¹ vgl. Rolfs 2021, Gollmer 2022

²² vgl. Perragin/Renouard 2022

²³ vgl. Velliet 2022

3 Der Wettbewerb zwischen den USA und China

Die Rivalität in der Technologie gilt dem Direktor der *Central Intelligence Agency (CIA)*, Bill Burns, als „Hauptschauplatz für Konkurrenz und Rivalität mit China“ [original: “main arena for competition and rivalry with China.”]²⁴. In Bezug auf digitale Technologie konkurriert China mit den USA in den Bereichen künstliche Intelligenz (KI), 5G, Quanteninformatikwissenschaft (QIS), Halbleiter, Biotechnologie und grüner Energie,²⁵ und China ist bereits führend in der Quantenkommunikation.

Gemäß dem KI-Entwicklungsplan von 2017 *New Generation AI Development Plan*, strebt China an, weltweit führend in der KI zu werden und bis 2030 einen inländischen KI-Markt im Wert von 150 Mrd. USD zu entwickeln.²⁶ Die chinesische Regierung betrachtet KI als eine Gelegenheit, die Vereinigten Staaten zu „überspringen“, indem sie sich auf KI konzentriert, um Entscheidungen auf dem Schlachtfeld zu beschleunigen sowie die Cyber-Fähigkeiten, Marschflugkörper und autonome Fahrzeuge in allen militärischen Bereichen zu verbessern²⁷. Die dem US-Verteidigungsministerium *Department of Defense (DoD)* angehörige *National Security Commission on Artificial Intelligence (NSCAI)* war 2020 noch der Ansicht, dass die USA immer noch keine glaubwürdige Alternative zum chinesischen Anbieter *Huawei* für 5G haben²⁸. Dies ist ein großes Sicherheitsproblem, da 5G-Netzwerke eine Art „Bindegewebe“ zwischen den KI-Anwendungen darstellen²⁹.

Bereits 2004 führte das US-Verteidigungsministerium (DoD) ein *Trusted-Supplier*-Programm ein, bei dem die Regierung US-Unternehmen eine Gebühr zahlt, um den Zugang und die Zuverlässigkeit von Komponenten zu gewährleisten, die für die Landesverteidigung wichtig sind³⁰. Dies deckt jedoch nur einen kleinen Teil des militärischen Bedarfs ab und das Verteidigungsministerium ist stark von der kommerziellen Lieferkette vieler Nicht-US-Lieferanten abhängig³¹. Im Jahr 2022 stellte das Verteidigungsministerium fest, dass „das langsame Tempo der Technologieimplementierung in US-Einrichtungen in Verbindung mit der einer risikoscheuen Haltung der inländischen Hersteller zu einer verstärkten Konsolidierung der State-of-the-Art (SOTA)-Fertigung im Ausland geführt hat“ [original: “the slow pace of technology implementation occurring in US facilities, coupled with the aforementioned risk-averse position adopted by domestic manufacturers, has led to increased consolidation of State-of-the-Art (SOTA) manufacturing technology in foreign nations”].³²

Im Juni 2014 veröffentlichte China seine *Richtlinien zur Förderung der nationalen Entwicklung der integrierten Schaltkreisindustrie* mit dem Ziel, bis 2030 eine weltweit führende Halbleiterindustrie in allen Bereichen der integrierten Schaltkreislieferkette aufzubauen³³. Im August 2020 aktualisierte die chinesische Regierung ihre Halbleiterpolitik, um die Zusammenarbeit mit ausländischen Hochschulen und der Industrie zu betonen, um mehr Wissen, Kapazitäten und Investitionen nach China zu bringen. Der *China Integrated Circuit Investment Industry Fund (CICIIF)* wurde gegründet, um die heimische Industrie, staatlich gelenkte Akquisitionen im Ausland und den Kauf ausländischer Halbleiterausstattung zu unterstützen³⁴. Die Halbleiterpolitik ist auch Teil der Initiative „*Made in China 2025*“ und ein

²⁴ Zitiert in Allison et al. 2021

²⁵ vgl. Allison et al. 2021

²⁶ vgl. Hoadley/Sayler 2019, S.1, NATO 2019, S.10

²⁷ vgl. NATO 2019, S.10

²⁸ vgl. NSCAI 2020, S.54

²⁹ vgl. NSCAI 2020, S.55

³⁰ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

³¹ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

³² vgl. DoD 2022

³³ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

³⁴ vgl. Sutter 2021

Schlüsselement von Präsident Xi Jinpings *chinesischem Traum von einer großen Wiederbelebung der chinesischen Nation*³⁵.

Chinas Strategie zur Förderung seiner Halbleiterkapazitäten umfasst den Erwerb spezialisierter Technologieunternehmen, die Intensivierung der Zusammenarbeit und den Transfer durch Joint Ventures, Lizenzvereinbarungen, die Nutzung von Open-Source-Technologieplattformen, die Einstellung ausländischer Talente und den Kauf von US-Ausrüstung und Softwaretools³⁶. Die USA beklagten jedoch, dass dies mit erzwungenem Technologietransfer, cybergestütztem Diebstahl von US-amerikanischem geistigem Eigentum und Geschäftsgeheimnissen, diskriminierenden und nicht marktbezogenen Lizenzierungspraktiken und staatlich finanziertem strategischem Erwerb von US-Eigentum einherging³⁷.

Seit 2018 haben die Vereinigten Staaten eine Vielzahl von Initiativen ins Leben gerufen, um den Aufstieg Chinas in diesem Bereich zu stoppen oder zumindest zu verlangsamen.

Im Jahr 2018 reagierten die USA mit der Einführung von Zöllen auf chinesische Chips³⁸ während das Justizministerium Anklage wegen Diebstahls von geistigem Eigentum und Geschäftsgeheimnissen erhob. Im selben Jahr wurde die Überprüfungsbehörde für ausländische Investitionen, das *Committee on Foreign Investment in the United States (CFIUS)* durch den *Foreign Investment Risk Review and Modernization Act (FIRRMA)* für strategische Investitionen gestärkt, nachdem das CFIUS seine Aktivitäten im chinesischen Halbleitergeschäft bereits seit 2015 verstärkt hatte³⁹. Zwischen 2015 und 2018 wurden mehrere Übernahmen spezialisierter US-Firmen durch chinesische Firmen aufgegeben oder blockiert⁴⁰. Gleichzeitig wurde 2018 der *Export Control Reform Act (ECRA)* veröffentlicht, der den Export von Dual-Use-Technologie nach China als Reaktion auf Chinas militärisch-ziviles Fusionsprogramm einschränkt. Um dies näher zu spezifizieren, veröffentlichte das *Bureau of Industry and Security (BIS)* des US-Handelsministeriums eine erste Liste von 14 neuen Technologien, die eingeschränkt werden sollen, darunter Robotik, additive Fertigung (z. B. 3D-Druck) und fortschrittliche Überwachungstechnologien⁴¹. Die ECRA wird durch die *Export Administration Regulations (EAR)* umgesetzt. Nach der *De-minimis*-Regelung gilt die EAR z.B. für Exporte nach China für jedes Produkt, das von einem ausländischen Unternehmen im Ausland hergestellt wird, wenn der Wert der US-Komponenten 25% übersteigt. Die *Foreign Direct Product Rule (FDPR)* besagt, dass, wenn bestimmte kontrollierte US-Software oder -Technologien zur Herstellung einer Ware (auch von ausländischen Unternehmen im Ausland) verwendet werden, für den Export nach China eine US-Lizenz erforderlich ist. Dies gilt unabhängig vom Wert der US-Komponente. Dies betrifft sowohl US-Halbleiter als auch fast alle US-Halbleiter-Fertigungsanlagen⁴².

Ebenfalls im Jahr 2018 wollte die *chinesische Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC)* eine *Extrem-Ultraviolett-Lithographie (EUV)*-Maschine von der niederländischen ASML kaufen, die für die Herstellung der feinsten Chips (7 Nanometer und darunter) unerlässlich ist⁴³.

Die Vereinigten Staaten haben sich auf höchster diplomatischer Ebene massiv engagiert (einschließlich eines Besuchs beim niederländischen Premierminister Rutte), um die Lieferung fortschrittlicher EUV-Lithografie-Geräte an die chinesische SMIC zu blockieren. Die USA

³⁵ vgl. Cronin 2022

³⁶ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

³⁷ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

³⁸ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

³⁹ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

⁴⁰ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

⁴¹ vgl. Lazarou/Lokker 2019

⁴² vgl. Velliet 2022

⁴³ vgl. Velliet 2022

wiesen darauf hin, dass „gute Verbündete“ diese Art von Ausrüstung nicht nach China verkaufen und dass die Maschinen von ASML ohne bestimmte US-Komponenten nicht mehr funktionieren könnten⁴⁴. Am Ende wurde die Maschine nicht an Chinas *SMIC* verkauft.

Ohne Zugang zu diesem Equipment und Fachpersonal kann die *SMIC* und damit China auf absehbare Zeit keine Prozessknoten unter 7 bis 10 Nanometer erreichen.⁴⁵ **Dies wird Chinas zukünftigen Fortschritt für digitale Geräte erheblich verlangsamen oder sogar teilweise stoppen.**

Die nächste Internet-Kommunikationsgeneration 5G kommt, die erstmals eine breite Umsetzung des Internets der Dinge (**Internet of Things IoT**) und intelligenter Home- und Smart City-Lösungen, insbesondere durch deutlich höhere Datenströme, Echtzeitübertragung, massiv reduzierte Latenzzeiten (Übertragungsverzögerungen) unter 1 Millisekunde und einem reduzierten Energiebedarf für die Übertragung pro Bit ermöglichen wird. Geostrategisch ist es offensichtlich, dass derjenige, der das 5G-Netz kontrolliert, auch die Zivilisation des betreffenden Landes beherrscht. Das chinesische Unternehmen *Huawei* ist einer der weltweit größten Smartphone-Hersteller und auch einer der größten Infrastrukturanbieter, insbesondere von Funkantennen für Smartphones und sonstigen Datenverkehr. Die Sanktionen der USA gegen *Huawei* 2019 sollen den wachsenden Einfluss von *Huawei* zurückdrängen, so dass die USA auch anderen Ländern raten, Produkte nicht mehr in sicherheitsrelevanten Bereichen einzubauen. *Huawei* ist inzwischen der weltweit führende Mobilfunkausrüster bei der Infrastruktur mit über 30% Marktanteil und hat *Apple* bei den Smartphones überholt. *Huawei* hat 92 Zulieferer, davon 33 aus den USA, hierzu gehört das *Android*-System von Google, *Qualcomm*-Chips und *Microsoft*-Anwendungen⁴⁶. Im Mai 2019 verweigerte das US-Handelsministerium den Export von *Qualcomms Snapdragon*-Chips, die für die 5G-Fähigkeiten von *Huawei* unerlässlich waren. Infolgedessen sanken die Smartphone-Einnahmen von *Huawei* im Jahr 2021 um 28,9 %, nachdem der Chipvorrat vollständig aufgebraucht war⁴⁷. Weitere Beschränkungen für den Handel zwischen den USA und *Huawei* wurden im Jahr 2020 eingeführt, die auf die Produktionsfähigkeit von *Huawei* abzielten⁴⁸. Seit Mai 2020 hat das BIS die Regeln verschärft, um die Fähigkeit des führenden chinesischen Unternehmens *Huawei* und seiner Tochtergesellschaften einzuschränken, Chips, die US-Designsoftware oder unterstützende Ausrüstung verwenden, zu erwerben⁴⁹.

Im August 2022 wurde mit Unterstützung sowohl der demokratischen als auch der republikanischen Partei der *Semiconductors Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors (CHIPS) and Science Act* verabschiedet⁵⁰. Dieser sieht verschiedene Unterstützungsmaßnahmen für die heimische US-Industrie vor; allerdings müssen alle Empfänger von Bundesmitteln eine Vereinbarung einhalten, die eine Ausdehnung der Fertigung nach China oder anderen als problematisch betrachteten Ländern verbietet⁵¹.

Darüber hinaus wollten die Vereinigten Staaten ASML nun auch daran hindern, Argonfluorid (ArF)-Immersionslithographie-Technologien zu verkaufen, die im *DUV (Deep Ultraviolet)*-Verfahren verwendet werden, einer Vorläufertechnologie des EUV.

Am 07. Oktober 2022 veröffentlichte das Büro für Industrie und Sicherheit (BIS) des Handelsministeriums neue Exportkontrollen *New Export controls on Advanced Computing and*

⁴⁴ vgl. Velliet 2022

⁴⁵ vgl. Eurasia Group 2020

⁴⁶ vgl. Müller 2019, S.9

⁴⁷ vgl. De Chant 2022

⁴⁸ vgl. Ankenbrand/von Petersdorf 2020, p.16

⁴⁹ vgl. Platzer/Sargent Jr. 2020

⁵⁰ vgl. PCAST 2022

⁵¹ vgl. Sargent Jr./Sutter 2022, GPO 2022

*Semiconductor Manufacturing Items to the People's Republic of China (PRC)*⁵² mit zwei Regelungen, die Chinas Fähigkeit einschränken, fortschrittliche Computerchips zu erhalten, Supercomputer zu entwickeln und zu warten und fortschrittliche Halbleiter herzustellen. Rechtlich erweitert dies das Ausfuhrkontrollreformgesetz *Export Control Reform Act* von 2018 und seine Durchführungsverordnungen, die EAR.

Die erste Verordnung verhängt restriktive Exportkontrollen für bestimmte fortschrittliche Halbleiterchips, Transaktionen für Supercomputer-Endverwendungen und Transaktionen, an denen bestimmte gelistete Unternehmen beteiligt sind. Die zweite Verordnung führt neue Kontrollen für bestimmte Geräte zur Herstellung von Halbleitern und Transaktionen für bestimmte Endverwendungen von integrierten Schaltkreisen (ICs) ein. Dazu gehören neue Lizenzanforderungen für Geräte, die für chinesische Halbleiterhersteller bestimmt sind, die bestimmte ICs herstellt. Chinesische Einrichtungen müssen von vornherein mit einer Ablehnung der Lizenz rechnen ("presumption of denial").⁵³.

Außerdem sollte US-Personal eine solche Produktion in chinesischen Einrichtungen nicht unterstützen oder entwickeln. US-Zulieferer haben daraufhin bereits damit begonnen, Personal aus China abzuziehen⁵⁴. Die niederländische ASML wies ihr US-Management an, die direkte oder indirekte Unterstützung chinesischer Kunden einzustellen⁵⁵. Experten schätzen, dass diese Maßnahmen China Jahre an Entwicklungszeit für Hochleistungs- und Supercomputer kosten werden⁵⁶.

Begleitet werden diese Aktivitäten von Versuchen, das Internet der USA und Chinas zu trennen: Während die USA von den "Big Five" (*Google, Apple, Microsoft, Amazon* und *Facebook*) dominiert werden, verfügt China über die Messenger-Plattform *WeChat* (im Besitz von *Tencent*), die Suchmaschine *Baidu*, das Twitter-Äquivalent *Sina Weibo* und die Videoanwendungen *TikTok/Duoyin* (beide im Besitz von *Bytedance*) und *Kuaishou*⁵⁷.

Jetzt arbeiten beide Staaten an der vollständigen Trennung ihrer Internetinfrastruktur, die das Risiko einer Trennung des Internets in zwei verschiedene Technologiewelten birgt.

Im Rahmen des 3-5-2-Projekts von Ende 2019 hat Peking allen Regierungsstellen und öffentlichen Einrichtungen befohlen, ausländische Computerausrüstung und -software innerhalb von drei Jahren zu entfernen, wobei 30% im ersten, 50% im zweiten und 20% im dritten Jahr entfernt sollten, was den Namen 3-5-2 erklärt⁵⁸.

Auf der anderen Seite haben die USA im Jahr 2020 das *Clean Network*-Programm eingerichtet, mit dem chinesische IT-Komponenten aus der IT-Infrastruktur in den fünf Bereichen *Clean Carrier, Clean Apps, Clean Store, Clean Cable* und *Clean 5G Path* entfernt werden sollen.⁵⁹

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Inzwischen wurde erkannt, dass die Produktion von Computern und digitalen Geräten kritische Engpässe aufweist und dass die Kontrolle kritischer Elemente wie seltener Metalle und Halbleiter (Computerchips, Rechenchips, Mikroprozessoren) als Kernelement jedes digitalen Geräts für geostrategische Zwecke genutzt werden kann. Seit 2018 haben die Vereinigten Staaten schrittweise den Export von Halbleitern und zugehöriger Fertigungsausrüstung nach China eingeschränkt. Unter anderem konnten die Vereinigten Staaten den Verkauf der

⁵² vgl. BIS 2022

⁵³ vgl. BIS 2022

⁵⁴ vgl. Ankenbrand et al., 2022

⁵⁵ vgl. Smolka/Theile 2022

⁵⁶ vgl. Mayer 2022

⁵⁷ vgl. Gollmer 2019, S.7

⁵⁸ vgl. Financial Times 08 Dec 2019

⁵⁹ vgl. State Department 2020

sogenannten EUV-Technologie an China blockieren, was es für China sehr schwierig oder sogar unmöglich macht, zukünftig fortschrittliche Chips (und damit fortschrittliche Computer) herzustellen. Am 07. Oktober 2022 wurden diese Beschränkungen erheblich ausgeweitet, um Chinas Fähigkeit einzuschränken, fortschrittliche Computerchips zu erhalten, Supercomputer zu entwickeln und zu warten und fortschrittliche Halbleiter herzustellen. Dieser Schritt könnte Chinas technologische Entwicklung für Jahre erheblich verlangsamen und China steht nun vor harten strategischen Entscheidungen und Entscheidungen.

Das geostrategische Problem für China ist, dass es nicht warten kann, wenn es die globale Führung erreichen will. Hauptgründe sind die Demografie mit einer alternden Erwerbsbevölkerung und die Tatsache, dass China trotz massiver Anstrengungen immer noch ein geringeres nominelles Pro-Kopf-Einkommen hat als die Seychellen⁶⁰. Entweder akzeptiert China, dass die Vereinigten Staaten für eine gewisse Zeit die globale Führung behalten werden, oder sie entscheiden sich dafür, um die Führung zu kämpfen, wie von Chinas Präsident Xi Jinping angedeutet, der seinem Volk am 16. Oktober 2022 sagte, es solle sich auf die „schlimmsten Fälle“ vorbereiten.

Ein möglicher Angriff auf Taiwan, um es unter chinesische Kontrolle zu bringen (aus chinesischer Sicht zu einer Wiedervereinigung), könnte der taiwanesischen Chipindustrie schaden und dadurch die globale digitale Industrie stark beeinträchtigen. Taiwan hofft immer noch, dass der zu erwartende Schaden China von einem Angriff abhält, dieses Konzept nennt sich „Silicon Shield“⁶¹. Allerdings würden dann auch die Vereinigten Staaten massiv geschädigt. Aber ein Angriff auf Taiwan könnte auch weiteren strategischen Zielen dienen. Es würde die Vereinigten Staaten drängen, den Krieg zu erklären. Wenn sie dies nicht tun, haben die Vereinigten Staaten ihre militärische Glaubwürdigkeit verloren, was zum Zusammenbruch der US-Sicherheitsarchitektur und ihres Einflusses in Asien führen würde. Aber wenn sie das tun, wäre die US-Pazifikflotte gezwungen, in der Nähe der chinesischen Küste zu operieren, wo China wahrscheinlich eine lokale konventionelle Überlegenheit hat und auch seine fortschrittlichen *Dongfeng*-Anti-Schiffs-Raketen mit massivem Schaden für die US-Marine einsetzen könnte. Die Dinge könnten anders aussehen, wenn z. B. Japan die US-Streitkräfte mit seiner sehr großen und modernen Marine unterstützen würde. Aus diesem Grund wird Taiwan derzeit von Japan als wichtiges strategisches Thema diskutiert⁶².

Aber das bleibt spekulativ. Tatsache ist jedoch, dass strategische Schritte bei so kleinen Dingen wie den Chips in der Lage sind, Großmächte ernsthaft herauszufordern.

5 Literatur

Allison, G. et al. (2021): Avoiding Great Power War Project. Belfer Center for Science and International Affairs. Harvard Kennedy School. December 2021

Ankenbrand, H., von Petersdorf, W. (2020): Huawei droht der Todesstoß. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 19.08.2020, S.16

Ankenbrand, H. et al. (2022): Das nächste Chip-Beben. Frankfurter Allgemeine Zeitung 15.10.2022, S.17

BIS (2022): Commerce Implements New Export Controls on Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items to the People's Republic of China (PRC). Press Release from 07 Oct 2022.

⁶⁰ vgl. Cronin 2022

⁶¹ vgl. Cronin 2022

⁶² vgl. MOD 2022

Bost, B. (2022): Möglicherweise eine Art Überlebensgarantie. Preußische Allgemeine Zeitung. 19.08.2022, S.7

Büschemann, K.-H., Uhlmann, S. (2010): Deutschland braucht eine Rohstoffstrategie. Süddeutsche Zeitung 15.10.2010, S.19

Cronin, R. (2022): Semiconductors and Taiwan's "Silicon Shield". Stimson.org 16 Aug 2022

De Chant, T. (2022): Biden's new restrictions on exporting semiconductor tools hit China where it hurts. MSN.com 18 Oct 2022

DoD (2022): Securing Defense-Critical Supply Chains. An action plan developed in response to President Biden's Executive Order 14017. February 2022

EU (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. {COM(2021) 350 final} - {SWD(2021) 351 final} - {SWD(2021) 353 final}

EU (2022): Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee of the Regions: A Chips Act for Europe. COM(2022) 45 final Brussels, 8.2.2022

Eurasia Group (2020): The Geopolitics of Semiconductors Prepared by Eurasia Group. September 2020

FAZ (2019): Amerika will mehr seltene Erden fördern. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Nr.130, S.17

Financial Times (2019): Beijing orders state offices to replace foreign PCs and software 08 Dec 2019 <https://www.ft.com/content/b55fc6ee-1787-11ea-8d73-6303645ac406>

Gollmer, P. (2022): Russische U-Boote interessieren sich für das Nervensystem des Internets. Neue Zürcher Zeitung 29. April 2022, p.4

GPO (2022): PUBLIC LAW 117–167—AUG. 9, 2022. Division A—CHIPS ACT OF 2022

Hoadley D.S., Saylor, K.M. (2019): Artificial Intelligence and National Security Congressional Research Service R45178 Version 6 Updated November 21, 2019

Khan, S.M., Mann, A., Peterson, D. (2021): The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness Center for Security and Emerging Technology (CSET) Issue Brief January 2021

Lazarou, E., Lokker, N. (2019): Briefing United States: Export Control Reform Act (ECRA). European Parliamentary Research Service (EPRS) PE 644.187 – November 2019 EN

Mayer, F. (2022): USA wollen Chiplieferungen stoppen. Tagesschau online 08.10.2022

MOD (2022): Defense of Japan 2022. Published by the Ministry of Defense (MOD). https://www.mod.go.jp/en/publ/w_paper/wp2022/DOJ2022_Digest_EN.pdf

NATO (2019): Artificial Intelligence: Implications for NATO's Armed Forces. Science and Technology Committee (STC) - Sub-Committee on Technology Trends and Security (STCTTS) Rapporteur: Matej Tonin (Slovenia) 149 STCTTS 19 E rev. 1 fin Original: English 13 October 2019

NSCAI (2020): National Security Commission on Artificial Intelligence First quarter Recommendations March 2020, 131 pages

- PCAST (2022): Report to the President. Revitalizing the U.S. Semiconductor Ecosystem. Executive Office of the President President's Council of Advisors on Science and Technology. September 2022. President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST)
- Perragin, C and Renouard, G. (2021): Verkabelter Ozean – Geopolitik der Datenströme. Le Monde Diplomatique, S.1 und 14
- Platzer, M.D., Sargent Jr., J.F. (2016): U.S. Semiconductor Manufacturing: Industry. Trends, Global Competition, Federal Policy. Congressional Research Service R44544
- Platzer, M.D., Sargent Jr., J.F. (2020): U.S. Semiconductor Manufacturing: Industry. Trends, Global Competition, Federal Policy. Congressional Research Service R46581
- Rolfs, O. (2021): Der Krieg um die Untersee-Datenkabel. Neue Zürcher Zeitung 29.07.2021
- Sargent Jr., J.F., Sutter, K.M. (2022): Semiconductors, CHIPS for America, and Appropriations in the U.S. Innovation and Competition Act (S. 1260). Congressional Research Service IF12016
- Smolka, K.M., Theile, G. (2022): Chipkampf der Blöcke lässt AMSL kalt. Frankfurter Allgemeine Zeitung 20.10.2022, S.22
- State Department (2020): The Clean Network - United States Department of State <https://www.state.gov/the-clean-network/> August 2020
- Sutter, M. (2021): China's New Semiconductor Policies: Issues for Congress. Congressional Research Service R46767
- Velliet, M. (2022): "Convince and Coerce: U.S. Interference in Technology Exchanges Between its Allies and China", Étude de l'Ifri, Ifri, February 2022