Der Krieg um Mikrochips

Im Konflikt zwischen den USA und China steht eine Firma zwischen den Fronten, welche die Fabrikation von Mikrochips dominiert – der Schlüsselressource der heutigen Welt. Sie sitzt ausgerechnet in Taiwan. Von Alain Zucker

Als Nancy Pelosi kürzlich nach Taiwan aufbrach, um das von China bedrohte Land zu unterstützen, erwartete sie schon etwas Dankbarkeit. Doch beim Lunch, in einem neobarocken Palast in Taipeh zeigten sich nicht alle Gäste zuvorkommend. Morris Chang, der 91-jährige Gründer der Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), des erfolgreichsten Mikrochipherstellers der Welt, dachte nicht daran, sich an die Etikette zu halten. Statt sie für ihr Engagement zu loben, soll er Madam Speaker kritisiert haben: Der Versuch der US-Regierung, Amerikas Chipindustrie wieder aufzubauen, sei zum Scheitern verurteilt. «Er war ziemlich direkt, und die geschätzten Gäste waren etwas überrascht», so erzählte es ein Anwesender der «Financial Times».

Mikrochips oder Halbleiter, wie Experten sagen: Spätestens seit Corona hat eine breite Öffentlichkeit realisiert, wie wichtig sie für das Funktionieren der heutigen Weltwirtschaft sind. Von Autos über Smartphones bis zu Waffensystemen: Alles läuft nur dank den Schaltkreisen auf den daumennagelgrossen Siliziumplättchen. Oder läuft eben nicht, weil sie fehlen wie in der Pandemie, als Produktionslinien stillstanden. Während die Investoren vom «Erdöl des 21. Jahrhunderts» sprechen, raunen die Geopolitiker, der Kampf um Mikrochips entscheide über die Weltordnung.

In dieser Schlüsselindustrie der Gegenwart ist Morris Chang so etwas wie der erfolgreichste Ingenieur seit ihrer Erfindung, zumindest der erfolgreichste noch lebende. Mit TSMC hat er jenen Halbleiterhersteller aufgebaut, von dem fast die ganze Welt abhängt. Analysten der Credit Suisse schreiben, wenn die Welt den Zugang zu Taiwans Chipproduktion verlieren würde, wäre nicht nur die Versorgung mit elektronischen Alltagsprodukten stark gestört. In der Auftragsfertigung von Mikrochips liegt der Marktanteil der Firma bei über 50 Prozent, nimmt man nur die neuste Generation, liegt er bei über 90 Prozent. Man könnte also meinen, Chang, der im Unternehmen nur noch eine informelle Rolle spielt, könnte gelassen seinen Ruhestand geniessen. Doch TSMC droht gerade in den wichtigsten geopolitischen Konflikt hineingerissen zu werden – und das macht ihm Angst.

Strom fliesst, er fliesst nicht

Changs Geschichte ist die Geschichte der digitalen Revolution und ihrer Globalisierung – aber auch von deren Umkehr, die heute droht. Eins, null – Strom fliesst, fliesst nicht: Wirtschaftshistoriker Chris Miller zeichnet im Buch «Chip War» nach, wie Ingenieure in den USA Mitte des letzten Jahrhunderts mit Halbleitermaterialien wie Silizium herumpröbelten. Man kann mit diesen je nach Handhabung elektrischen Strom sowohl leiten als auch blockieren, und so lassen sich über sogenannte Transistoren Schaltkreise – und damit auch elektronische Geräte steuern (siehe unten).

Besonders effizient geht das mit Mikrochips, die unzählige Transistoren in einem Bauelement enthalten. Bereits 1965 machte der Wissenschafter Gordon Moore jene Prognose, die bis heute gilt: Die Leistung der Mikrochips werde sich rund alle zwei Jahre verdoppeln, weil wegen des technologischen Fortschritts immer mehr Transistoren auf einen Chip passten. Morris Chang war damals ein Immigrant aus China, der vor dem Bürgerkrieg in die USA geflohen war und bei Texas Instruments als Ingenieur arbeitete. Der Pfeifenraucher und Bridgespieler war zuständig dafür, die Fehlerquote bei der Herstellung der Mikrochips zu reduzieren. Rigoros wie kein anderer soll er die Produktion auf Effizienz getrimmt haben, die Untergebenen fürchteten seinen unerbittlichen Perfektionismus.

Industrie der Superlative

50 Mrd.
So viele Transistoren haben auf dem zuletzt entwickelten 2-Nanometer-Chip Platz.

200 Mio.
So teuer kann die Maschine werden, die Baupläne auf Mikrochips überträgt.

90%
Das ist der Marktanteil von TSMC bei der neusten Generation von Halbleitern.

Es war die Zeit, als die US-Hersteller dominierten, allen voran die Firma Intel, die auch zu den Pionieren gehörte. Die Russen versuchten, sie zu kopieren, und scheiterten. Die Europäer probierten es nicht einmal, nur die Japaner waren in die Halbleiterproduktion eingebunden. Schön die Anekdote über Frankreichs Präsidenten Charles de Gaulle, der bei einem Staatsbesuch im Élysée über das Geschenk des japanischen Premiers lästerte: ein Transistorradio, so kleinbürgerlich!

Als in den 1980er Jahren der in die Geschäftsleitung aufgestiegene Morris Chang als Konzernchef von Texas Instruments übergangen wurde, sollte sich dies aus amerikanischer Sicht als brutaler Fehler erweisen. Chang zog nach Taiwan und gründete mithilfe der Regierung TSMC, das erste Mikrochipunternehmen, das sich auf die reine Fertigung von Halbleitern konzentrierte. Er sah, wohin Moores Gesetz führte: Das Pressen von immer mehr Transistoren auf immer weniger Platz machte den Herstellungsprozess von Mikrochips so komplex, dass dies nur durch radikale Spezialisierung kosteneffizient zu bewerkstelligen war. Aus zweidimensionalen Architekturen wurden dreidimensionale. Heute geht es um das Zusammenfügen von Bestandteilen im Nanometerbereich, das ist etwa ein 50 000stel eines Haardurchmessers.

Demnächst beginnt TSMC mit der Serienfertigung von Chips mit Strukturgrössen im Bereich von 3 Nanometern. Auf Pilotebene hat IBM sogar einen 2-Nanometer-Chip entwickelt, den das «Time»-Magazin zu einer der 200 wichtigsten Erfindungen des Jahres zählt. 50 Milliarden Transistoren haben darauf Platz – ja, 50 000 000 000. «Schon länger erwartet man, dass wir an eine Grenze kommen, bisher haben wir sie nicht erreicht. Aber in absehbarer Zeit werden die Transistoren nicht mehr kleiner», sagt Heike Riel, Leiterin Science and Technology bei IBM Research Zürich. Die Nachfrage nach leistungsfähigeren Mikrochips werde weiter zunehmen, angetrieben vom Bedürfnis nach noch mehr Rechenleistung, weniger Energieverbrauch und künstlicher Intelligenz. Forscher arbeiteten deshalb auch an anderen Möglichkeiten als der Miniaturisierung, etwa daran, die bisher getrennten Logik- und Speicherungsfunktionen zu verschmelzen – «ähnlich wie das beim menschlichen Gehirn ist», sagt Riel.

Die heutigen Fabriken der Mikrochip-Industrie, «Fabs» genannt, operieren auf dem Niveau von Atomen, mit hochspezialisierten Anlagen wie einem Fotolithografen mit extrem ultravioletter Strahlung, der bis 200 Millionen Dollar kostet und nur von einer Firma hergestellt wird – von ASML in den Niederlanden. Die benötigten Maschinen sind so teuer, dass TSMC die Baukosten der neusten Fabrik auf 20 Milliarden schätzt. Details zu seinen Verfahren hält TSMC streng unter Verschluss.

Nur wenige Unternehmen konnten in diesem Rennen um immer grössere Investitionen für unvorstellbar kleine Miniaturen mithalten. Bei der Serienfertigung der leistungsfähigsten Chips sind nur noch TSMC und Samsung dabei. Ein entscheidender Moment auf dem Weg zur Dominanz von TSMC war, als Apple begann, seine iPhone-Chips von TSMC produzieren zu lassen. Dies nachdem der ins Wanken geratene US-Hersteller Intel die Anfrage fürs ursprüngliche iPhone abgelehnt hatte. Samsung wiederum verlor den Auftrag, als es selber ins Smartphone-Geschäft einstieg.

Schutzschild gegen Angriffe

Ihrem Grundprinzip sind die Taiwaner bis heute treu geblieben: Sie halten sich fern vom Design der Mikrochips, wo US-Firmen wie Apple, Qualcomm oder AMD führend sind. Stattdessen stellen sie sie in deren Auftrag her, effizienter als andere, in einem eingespielten Prozess an der Nordwestküste der Insel, wo die Wege zwischen Forschung und Fabrikation kurz sind. Mit dieser konsequenten Spezialisierung schafft es TSMC, der Konkurrenz technologisch einen Schritt voraus zu sein – und höhere Preise zu verlangen.

Das erweist sich bisher nicht nur für TSMC als sehr profitabel, das im 3. Quartal des laufenden Jahres 8,8 Milliarden Dollar Nettogewinn erzielte. Sondern auch für Taiwan. Man liefert überallhin, vor allem in die USA, aber auch nach China – das Taiwan als abtrünnige Provinz betrachtet, woher aber 10 bis 15 Prozent der Einnahmen kommen. «Die Halbleiterindustrie ist unser Silizium-Schutzschild gegen einen Angriff Chinas», wiederholen taiwanische Politiker gerne. Doch jetzt könnte sich dieser Schutzschild, so sagt Jason Hsu, Ex-Parlamentarier und Techforscher, «als Fallstrick» erweisen. Er befindet sich gerade in Boston, aber für den Zoom-Anruf hat er sich einen Hintergrund mit Taiwans Hauptstadt Taipeh eingerichtet. «Dass unsere wichtigste Industrie im Fokus der Geopolitik steht, ist gefährlich, sie wird zum Pfand zwischen China und den USA», meint er. Und ist ebenso besorgt wie TSMC-Gründer Chang, dessen Firma dadurch ins Stolpern geraten könnte.

Nur wenige Firmen konnten in diesem Rennen um immer grössere Investitionen für unvorstellbar kleine Miniaturen mithalten.

Im grossen Ringen mit China haben die Amerikaner realisiert, wie sie – selbst bei gewissen eigenen Waffensystemen – abhängig geworden sind vom Inselstaat, der nur durch eine 130 Kilometer breite Meeresstrasse von China getrennt ist. Sie haben deshalb eine Reihe von Massnahmen ergriffen, um einerseits die Kontrolle über die Technologie zurückzugewinnen und andererseits China daran zu hindern, Zugriff zu bekommen: So setzte die US-Regierung TSMC unter Druck, vermehrt in Fabriken in den USA zu investieren, weil sie die outgesourcte Chipproduktion zu Hause neu aufbauen will. Laut Schätzungen wäre ein solches Unterfangen allerdings 1,2 Billionen Dollar teuer. Vorläufiger Höhepunkt der gegen China gerichteten Feindseligkeiten sind die diesjährigen Restriktionen für Lieferungen von leistungsfähigen Halbleitern, bei denen in irgendeiner Form US-Technologie im Spiel ist. Betroffen sind unter anderem Mikrochips für 5G-Smartphones und -Mobilnetze, aber auch für Supercomputer und Anwendungen der künstlichen Intelligenz, die auch militärisch genutzt werden. So wollen die USA Chinas Marsch zur technologischen Vorherrschaft vorerst stoppen.

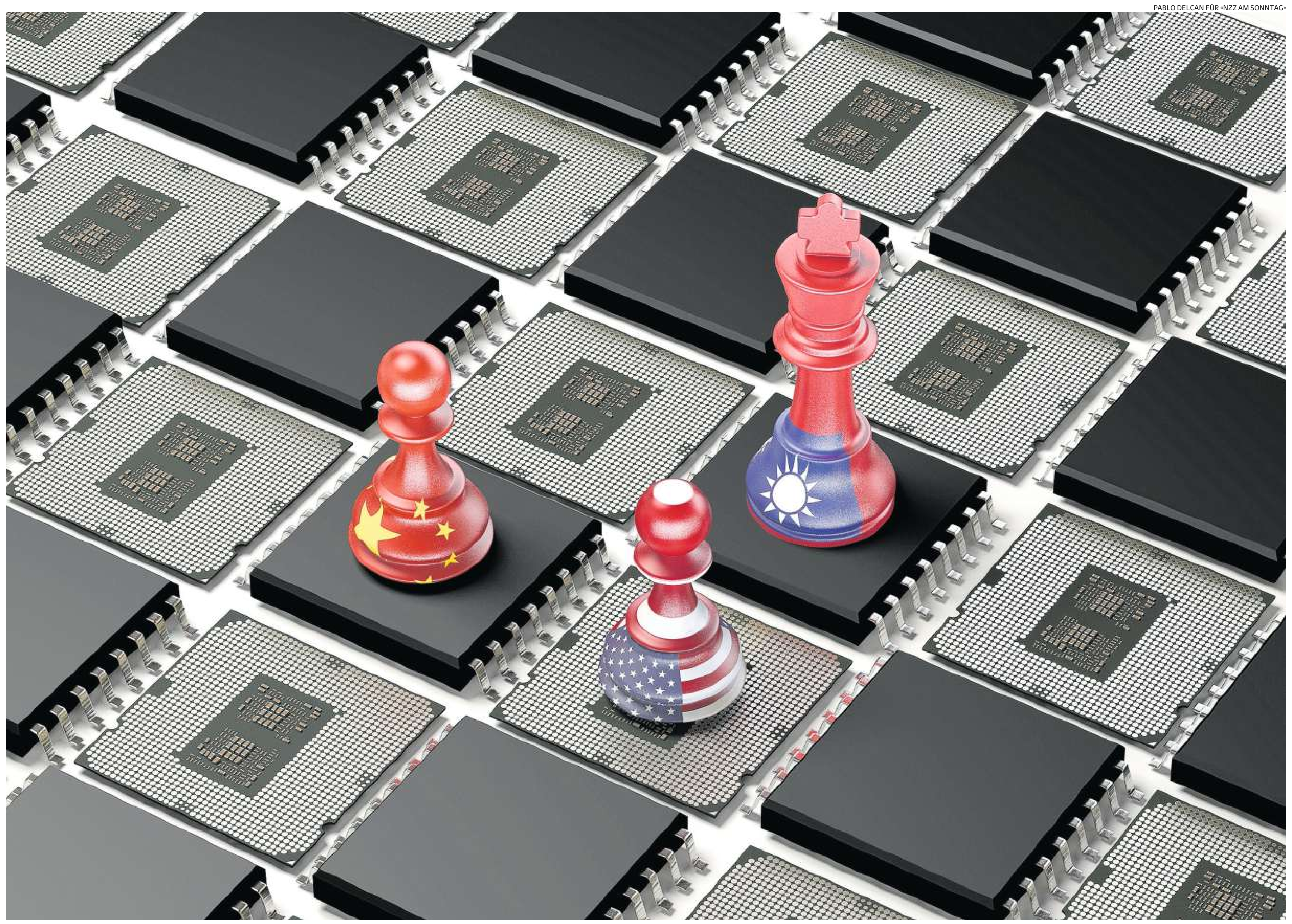
Bis heute haben die Chinesen bei der Herstellung der leistungsfähigsten Mikrochips den Durchbruch nicht geschafft. Milliarden haben sie in den Sand gesetzt, etwa mit Investitionen in eine Firma in Wuhan, die nichts als ein grosser Betrug war. Zu komplex sind die Prozesse, zu ausgeklügelt das nötige Knowhow, als dass der Kopier-Weltmeister dies einfach replizieren könnte. Daran ändern auch die 30 Millionen Cyberangriffe nichts, die Taiwan monatlich aus China registriert.

Die amerikanischen Restriktionen treffen China also hart und bringen TSMC in eine ungemütliche Lage. «Der Spagat zwischen China und den USA war immer eine delikate Balance. Dies zu ändern, ist für Taiwan nicht gut», warnt Jason Hsu. Doch Che-Jeng Wang, Analyst am Institut für nationale Verteidigung und Sicherheitsforschung in Taipeh, sagt, TSMC habe keine andere Wahl, als den Amerikanern zu folgen: «Das Chipdesign, ein Teil der Technologie, viele Patente stammen aus den USA. Wenn die Amerikaner die Lieferketten trennen, wird sich TSMC nach ihnen richten müssen.» Er spricht das Schlagwort der Stunde an, das «Decoupling». Wobei er nicht von einer kompletten Entkopplung spricht, sondern nur bei den leistungsfähigsten Mikrochips, die für die Amerikaner sicherheitsrelevant sind. «Sie machen erst einen kleinen Teil der Nachfrage aus. Gewöhnliche Applikationen wie etwa die Autoelektronik sind nicht betroffen.»

Damit, so sagt Wang, werde China im Moment leben können. Ein Angriff auf Taiwan, um die Halbleiterindustrie unter Kontrolle zu bringen, hält er für unrealistisch, solange China Zugang zur gewöhnlichen Chiptechnologie behalte: «Bei der neusten Technologie werden sie halt warten müssen.» Er skizziert den Weg, den Taiwans Halbleiterindustrie gehen könnte in einer Welt, die einen Teil der globalen Lieferketten entflechtet: Die Fertigung der fortgeschrittensten Technologie bleibt in Taiwan, TSMC bereitet sich darauf vor, China nur noch mit gewöhnlichen Chips zu beliefern, und diversifiziert geografisch mit Fabriken in den USA, Europa und Japan. Damit will der Halbleiterriese auch den Milliardeninvestitionen dieser Länder begegnen, die mit dem Aufbau einer eigenen Chipproduktion die Abhängigkeit von Taiwan reduzieren möchten.

Das alles ist nicht im Sinn von Morris Chang, dem pensionierten Paten der Mikrochipindustrie. Er ist gegen die geografische Diversifikation, da TSMC so seinen kompetitiven Vorteil der kleinräumigen Produktion und der eingespielten Zusammenarbeit mit seinen Zulieferern verlieren könnte. Und gelingt die Diversifikation, bröckelt auch das «Siliziumschild» Taiwans. Es hat China bei all seinen Annektionsträumen ebenso von einem Angriff abgehalten, wie es die Amerikaner zu dessen Verteidigung angehalten hat.

Die letzten Neuigkeiten deuten auf Entspannung: Diese Woche, nachdem Xi Jinping und Joe Biden an ihrem Treffen vorsichtig konstruktive Signale aussandten, investierte der legendäre US-Investor Warren Buffett über vier Milliarden Dollar in TSMC. Er scheint nicht davon auszugehen, dass sich das Säbelrasseln zwischen den zwei Grossmächten negativ auf die Geschäfte von TSMC auswirken wird.


PABLO DELCAN FÜR «NZZ AM SONNTAG»

Wie entsteht ein Mikrochip?

Digitaler Baustein der Welt

Mikrochips sind die zentralen Bausteine aller digitalen Geräte: Dank ihnen funktionieren Smartphones, Computer und Fahrzeuge. Die unscheinbar kleinen Chips bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium, dessen Leitfähigkeit verändert werden kann. Dafür zuständig sind kleinste Transistoren oder Schaltelemente. Ihr Zustand entscheidet, ob Strom geleitet wird oder nicht. An oder aus: Das entspricht den binären Werten 1 oder 0. Die Transistoren werden auf den Chips zu komplexen Schaltkreisen verbunden, welche die elektrischen Impulse hin und her leiten, um Befehle wie programmiert auszuführen, etwa das Licht beim iPhone einzuschalten.

Zu den zentralen Mikrochips in Computern und Smartphones gehören die Prozessoren. Sie übernehmen entscheidende Steueraufgaben, Speicherchips hingegen speichern die digitalen Informationen ab. In Zukunft sollen beide Funktionen verschmelzen, was kürzere Signalwege, schnellere Computer und weniger Energieverbrauch ermöglichen würde.

LAURYN ISHAK / BLOOMBERG
Ein Techniker überwacht die Fertigung der Siliziumscheiben.

1. Miniaturisierung

Die Herausforderung bei der Produktion der Mikrochips ist die Miniaturisierung der Bestandteile auf die Grösse von wenigen Atomen. Es geht darum, immer mehr Transistoren auf die gleiche Fläche zu bringen, um die Leistungsfähigkeit der Chips zu steigern. Laut dem sogenannten Mooreschen Gesetz konnte man sie bisher rund alle zwei Jahre verdoppeln. Das dürfte bald nicht mehr möglich sein.

2. Baupläne übertragen

Hardware-Designer entwerfen die Architektur der Schaltkreise. Ein wichtiger Schritt ist, diese Baupläne mit einer komplexen fotolithografischen Maschine auf dünne Siliziumscheiben (Wafer) zu übertragen. Heute wird dazu auch extrem ultraviolettes Licht verwendet, das die Bildung kleinster Strukturen auf dem Silizium ermöglicht. Die Wafer werden in Hunderte Mikrochips zerschnitten. Auf den modernsten Chips finden so mehr als 100 Millionen Transistoren pro Quadratmillimeter Platz.

3. Elektrisch verbinden

Damit sich die Strukturen einbrennen, wurde das Silizium zuvor mit lichtempfindlichem Lack behandelt. Chemikalien ätzen dann die belichteten Teile des Siliziums weg. Die hergestellten Transistoren und die anderen Bauteile werden mit Metallen wie Aluminium, Wolfram oder Kupfer oder elektrisch verbunden.

4. Mehrere Stockwerke

Da moderne integrierte Schaltkreise aus vielen übereinanderliegenden Ebenen bestehen, die quasi die Stockwerke eines Mikrochips bilden, müssen viele weitere Lagen belichtet werden. Anschliessend wird der Chip versiegelt, abgesehen von den Stellen, die den Kontakt zur Aussenwelt übernehmen.

5. Der fertige Mikrochip

Die leistungsfähigsten Chips, also die mit den kleinsten Strukturen und höchsten Dichte, verwendet man in Geräten wie iPhones und besonders leistungsfähigen Laptops sowie Datenclouds oder militärischen Applikationen. Auch wegen der künstlichen Intelligenz werden sie immer wichtiger. Elektronische Haushaltsgerät, normale Fahrzeuge oder das Internet der Dinge benötigen nicht die neuste Generation von Chips. *(azu.)*

ANN WANG / REUTERS
Höchst komplexer Winzling.

James Crabtree

«Die Zeit arbeitet für Xi Jinping»

Die USA versuchen, China mit einem Mikrochip-Embargo zu schwächen. Es sei der Beginn einer neuen Ära technologischer Konkurrenz, sagt der Politologe James Crabtree.

PD
Der Brite führt das International Institute for Strategic Studies in Singapur. Wir trafen ihn am Rande einer Konferenz der Asia Society Switzerland in Zürich.

Die USA haben im Oktober ein Halbleiter-Embargo gegen China erlassen. Was heisst das?

James Crabtree: Es beginnt eine neue Ära sehr intensiver Technologiekonkurrenz, jetzt zielen die USA nicht nur auf gewisse Firmen und den militärischen Sektor, sondern sie wollen Chinas Zugang in einer ganzen Technologiekategorie begrenzen: der neuesten Generation von Mikrochips.

Ist der Taiwan-Konflikt auch ein Konflikt über den Zugang zur Mikrochip-Technologie? Die Produktion wird von einer Firma in Taiwan dominiert: TSMC.

Die Spannungen haben vor allem damit zu tun, dass Peking Taiwan als abtrünnigen Teil von China versteht und die Wiedervereinigung anstrebt. Doch taiwanische Firmen kontrollieren die fortgeschrittene Halbleiterproduktion, also spielt es schon eine Rolle. Samsung und vor allem Intel hinken hinterher. Würde es wegen Taiwan zu einer Krise kommen oder gar einer chinesischen Invasion oder Blockade, würde das globale Angebot von Mikrochips stark gestört. Das wäre ökonomisch schlimmer für die Welt als der Ukraine-Krieg, da es Alternativen zu russischem Öl gibt, aber nicht zu taiwanischen Halbleitern.

Wie schmerzhaft ist das US-Embargo für China?

Es wird viel schwieriger werden für China, seine technologischen Ziele zu erreichen, ohne Zugang zur neusten Technologie. Es geht nicht um simple Chips, sondern um die ganz kleinen Halbleiterstrukturen, die man braucht, um Supercomputer und künstliche Intelligenz zu betreiben oder komplexe Waffensysteme.

Aber geht es beim Embargo wirklich um die militärische Bedrohung durch China, oder ist die Erklärung ein Feigenblatt?

Für die Chinesen ist das Argument der Bedrohung nur vorgeschoben, um sie am technologischen Wandel zu hindern. Überrascht sind die Chinesen davon aber nicht. Sie versuchen schon länger, ihre Abhängigkeit von internationaler Technologie zu reduzieren. Sie hatten damit gerechnet, dass die USA es nicht zulassen würden, dass China sie technologisch überholt.

Beginnt nun die Entkopplung der beiden Länder?

Wie die Ukraine zeigt, kann es schnell gehen: Ohne gross zu zögern, haben westliche Firmen Russland verlassen, Sanktionen wurden beschlossen. China will nicht so verletzlich sein. Das Problem ist, dass es derzeit noch keine Alternative hat. Es kann die fortgeschrittensten Mikrochips noch nicht selbst herstellen.

Werden sich die Chinesen für das Embargo rächen? Und wie?

China hat einige Optionen. Die meisten elektronischen Geräte werden immer noch in China zusammengesetzt, viele Komponenten dort hergestellt, auch von Smartphones. China könnte also morgen Apple stilllegen. Die Chinesen sind zwar grundsätzlich bereit, gegen Staaten vorzugehen, die nicht mit ihnen einig sind. Aber sie sind noch nie gegen die grossen ausländischen Firmen vorgegangen, die in China operieren. Diese sind zu wichtig für die chinesische Wirtschaft. Im Moment sieht es nicht danach aus, als würde Peking zurückschlagen.

Könnten die Chinesen die Technologie stehlen?

Das ist schwierig. Das beste Beispiel ist ASML aus den Niederlanden, das als Einziges die Fotolithografiemaschinen herstellt, die TSMC für die Produktion von Mikrochips braucht. Auch diese Maschine darf nicht mehr nach China geliefert werden, soweit ich weiss, weil US-Technologie drin ist. Das sind Maschinen, so gross wie dieses Sitzungszimmer, nur wenige werden pro Jahr hergestellt. Wie können Sie da die Technologie dieser Maschine stehlen? Es ist nicht möglich und würde auffliegen.

Wird es zu einer geopolitischen Krise rund um Taiwan kommen?

Es ist nicht sehr wahrscheinlich, dass China Taiwan angreift. Xi Jinping würde damit alles auf eine Karte setzen. Wieso sollte er das? Die Zeit arbeitet für ihn, er kann warten, vielleicht nähert sich Taiwan irgendwann von alleine China an. Wahrscheinlich aber werden begrenzte Spannungen wie während des Besuchs von Nancy Pelosi zunehmen, was China zur militärischen Machtdemonstration veranlasste. Je mehr solche Vorfälle es gibt, desto ernsthafter werden sich westliche Unternehmen überlegen, wie sie ihre Abhängigkeit von China reduzieren, und China, wie es technologisch autarker wird. *Interview: azu./ami.*