



# Aus einer Hand

## MacBook Air, MacBook Pro und Mac Mini mit Apples ARM-Prozessor M1

**Seit Kurzem sind die ersten Macs erhältlich, in denen Apples ARM-Prozessor M1 steckt und keine Intel-x86-CPU mehr. Das Debüt überzeugt im c't-Labor: Apple hat schnelle und alltagstaugliche Geräte abgeliefert.**

Von Florian Müssig

Apple hat den Mitte des Jahres angekündigten Übergang von Intel-CPU zu haus-eigenen ARM-Prozessoren gestartet: Seit Mitte November sind MacBook Air, MacBook Pro und Mac Mini in neuen Varianten erhältlich, die allesamt Apples M1-Chip nutzen.

Der M1 ist eng mit dem neuesten iPhone- und iPad-Prozessor A14 verwandt: Es gibt ebenfalls vier auf Energieeffizienz getrimmte Icestorm-Kerne (4 MByte gemeinsamer L2-Cache), aber auch vier (statt im A14 zwei) leistungs-

starke Firestorm-Kerne (12 MByte gemeinsamer L2-Cache). Alle acht CPU-Kerne können gemeinsam an anliegenden Aufgaben werkeln; bei geringer CPU-Last bleibt Firestorm zugunsten der Energiebilanz außen vor. Dieses unter den Bezeichnungen big.LITTLE oder DynamiQ bekannte Prinzip ist bei ARM-Prozessoren seit Jahren Standard – anders als in der x86-Welt [1].

Als System-on-Chip (SoC) hat der M1 noch etliche weitere Funktionsblöcke an Bord. Es gibt eine GPU mit ebenfalls acht Cores à 128 Ausführungseinheiten, einen

Block mit 16 Spezialkernen für KI-Berechnungen, einen großen systemweiten Cache (vermutlich 16 MByte), Controller für PCIe 4.0 und Thunderbolt 3 [2] sowie den vormaligen als separaten Chip in Macs eingebauten T2-Controller. Letzterer agiert nicht nur als Sicherheitsprozessor für TouchID-Authentifizierung und SSD-Verschlüsselung, sondern auch generell als SSD-Controller, Signalprozessor für die Webcam und als Audio-Codec – Funktionen, die er auch in bisherigen Intel-Macs schon übernommen hat. Bei M1-Macs entfällt Broadcom als Zulieferer der WLAN-Adapter; die Geräte funken nun gemäß Wi-Fi 6 (11ax) statt vormalig nur Wi-Fi 5 (11ac).

### M1-Varianz

Obwohl in allen drei neuen Macs der M1 steckt, gibt es kleinere Unterschiede. So verwendet Apple im MacBook Air standardmäßig einen M1, bei dem nur sieben statt acht GPU-Cores freigeschaltet sind – das verringert die 3D-Leistung etwas. Deutlich stärkere Auswirkungen auf die Performance hat aber die Tatsache, dass der M1 im MacBook Air lüfterlos gekühlt wird, während im MacBook Pro und im Mac Mini Lüfter die Abwärme aktiv aus dem Gehäuse befördern. Deswegen darf der M1 dort mehr Energie verheizen und kann dadurch seine hohen Turbo-Taktraten länger halten, statt bei Dauerlast einzuknicken.

Generell ist die Performance hoch: Intels Notebook-Standardprozessoren mit vier Kernen, die Apple bislang verwendet hat, müssen sich durch die Bank geschlagen geben – selbst dann, wenn x86-Code mittels der in macOS 11 enthaltenen Rosetta-2-Zwischenschicht erst auf ARM umgesetzt werden muss. Bei Anwendungen, die bereits als nativer ARM-Code (von Apple Universal Binary genannt) vorliegen, dreht der M1 dann richtig auf und lässt mitunter Desktop-Prozessoren alt aussehen [1]. Wie sich das auf populäre Anwendungen auswirkt, lesen Sie ab Seite 102.

Die hohe Performance liegt nicht (nur) an einem tollen CPU-Design und TSMCs branchenführender 5-Nanometer-Fertigung, sondern daran, dass Apple gnadenlos die Vorteile seines Alles-aus-einer-Hand-Mantras ausspielt: Die einzelnen Funktionsblöcke des M1 werden durch den Code des hauseigenen Xcode-Compilers optimal ausgelastet. Das ist ein krasser Gegensatz zur x86-Welt: Intel hat zwar

auch einen optimierenden Compiler und in neueren CPU-Generation Zusatzblöcke zur KI-Beschleunigung oder für AVX512-Befehle, doch das Software-Ökosystem hält nicht mit. Es dauert etliche Jahre, bis gängige Windows-Software Hardware-Neuerungen tatsächlich ausnutzt.

Hinzu kommt, dass Optimierungen auf die x86-CPU eines bestimmten Herstellers mitunter gar nicht gewünscht sind: AMD hat keinen eigenen Compiler, aber es durch geschicktes CPU-Design trotzdem geschafft, Intel-Prozessoren bei der Performance zu überholen. Freilich spielen dabei auch Intels anhaltende 10-Nanometer-Fertigungsprobleme eine Rolle: Intel wird anno 2021 nochmals neue 14-Nanometer-Prozessoren bringen (müssen), während AMD bereits seit dem Frühjahr 2020 flottere 7-Nanometer-Chips mit mehr Kernen verkauft. Auch das spricht dagegen, auf Teufel komm raus ausschließlich Intel-Optimierungen in x86-Windows-Anwendungen einzubauen.

### Momentum

Apple kann seine Karten auch deshalb ausspielen, weil klar ist, dass bis Ende 2022 alle Macs auf hauseigene ARM-Prozessoren umgestellt werden. Wer im lukrativen Apple-Kosmos mit zahlungskräftiger Kundschaft weiterhin Software verkaufen will, hat also gar keine andere Wahl, als mitzuziehen – weshalb es alle tun. Das Abschneiden alter Kompatibilitätszöpfe tut zwar weh und sorgt für Missmut, doch es gehört irgendwie auch zu Apple dazu. Microsoft hingegen kann es sich nicht leisten, großen Firmen die Umstellung ihrer IT-Landschaft kurzerhand vorzuschreiben – man denke nur an die unzähligen weiterhin in Betrieb befindlichen Windows-7-PCs in Behörden, Banken und Unternehmen, auf denen teure

Spezialsoftware läuft, die im Tagesgeschäft unerlässlich ist.

Es ist nicht so, dass Microsoft den Wechsel hin zu ARM-Prozessoren nicht ebenfalls auf dem Schirm hätte: Es gibt bereits seit 2016 eine ARM-Version von Windows 10 (WoA, Windows on ARM) und Mobilgeräte mit Qualcomms Snapdragon-Prozessoren. Diese Tablets und Notebooks tummeln sich aber weiterhin in einer unattraktiven Nische samt ungeklärter Henne-Ei-Problematik: Ohne ausreichend Geräte im Markt macht sich kein Programmierer an die Arbeit, seine Anwendung für WoA herauszubringen – und ohne Anwendungen mag man sich ein WoA-Gerät nicht kaufen. Microsoft selbst hat bis dato noch nicht einmal eine ARM-Version von Office veröffentlicht, obwohl man mit dem Surface Pro X selbst ein WoA-Gerät verkauft [4]. Für M1-Macs steht hingegen schon jetzt eine Beta-Version des M1-optimierten Mac-Office-Pakets bereit; Gleiches gilt für andere Profisoftware wie etwa Adobes Photoshop.

Ob sich an der WoA-Situation durch Apples ARM-Umstieg etwas ändert, ist schwer zu sagen, weil die Konzepte in unterschiedliche Richtungen gehen: Microsoft baut schicke Clients für seine Clouddienste, während SoC-Lieferant Qualcomm die Mobilfunkintegration in möglichst viele und günstige Geräte pushen will. Apple setzt hingegen weiterhin auf viel lokal vorhandene Performance; LTE oder 5G ist bei den M1-MacBooks nicht vorgesehen.

### Eingeengt

Umgekehrt bedeuten die neuen M1-Macs aber auch, dass man den Entscheidungen Apples noch stärker ausgeliefert ist als bislang. Sie kommen beispielsweise mit macOS 11 daher, welches dahingehend für Aufsehen sorgte, dass man nicht mehr alle Netzwerkverbindungen zu Gesicht



**Im MacBook Pro gibt es statt klassischer Funktionstasten die kontextabhängige Eingabezeile TouchBar.**

bekommt: Im Betriebssystem ist eine Liste von Systemprozessen hinterlegt, die jederzeit nach Hause telefonieren dürfen, ohne dass Firewalls oder Netzwerkniffer dies mitbekommen [5].

Und nicht zuletzt fällt „das Beste aus zwei Welten“ weg: Auf Intel-Macs konnte man mittels Boot Camp Windows 10 parallel zu macOS installieren oder unter macOS virtualisierte Windows-Anwendungen nutzen. Letzteres half, etwa nach einem Wechsel zu Apple hin weiterhin liebgegewonnene oder benötigte Anwendungen auszuführen. Ersteres ergab wegen wenig optimierten Treibern – allen voran beim Touchpad – zwar wenig Sinn im Alltag, war aber für Entwickler eine beliebte Möglichkeit, mit einem statt zwei Systemen auszukommen – oder man konnte ein Gadget mit neuer Firmware ausstatten, wenn es den Updater nur für Windows gab.

Apple sperrt sich nicht grundsätzlich gegen Windows auf M1-Macs, doch für x86-Windows und -Anwendungen ist der Zug abgefahren. Wenn, dann funktioniert bestenfalls die oben genannte Windows-on-ARM-Version. Der Haken: Deren Lizenzen verkauft Microsoft bislang nicht im freien Handel an Endkunden, sondern stellt sie nur OEMs zur Vorinstallation auf WoA-Geräten zur Verfügung. Auch Virtualisierer wie Parallels haben schon abgewunken: Man müsste schließlich nicht virtualisieren, sondern aufwendig emulieren. Wer nicht ohne Windows-Anwendungen auskommt, findet M1-Mac-Alternativen ab Seite 106.

## To-Dos

Dem Problem der anderen CPU-Architektur begegnet man übrigens auch, wenn man Peripheriegeräte an M1-Macs anschließt. Mäuse, Tastaturen und USB-Sticks nutzen generische USB-Profilen und können deshalb ohne Einschränkung verwendet werden. Für andere Peripherie wie LTE-Modems, TV-Sticks oder Audio-Interfaces gilt das nicht: Wenn der Hersteller keine ARM-macOS-Treiber liefert, kann man solche Komponenten nicht verwenden. Besonders das Feld der bei Macs beliebten externen GPUs im Thunderbolt-Dock (eGPU) liegt erst mal brach, solange AMD und Nvidia keine passenden Treiber liefern.

Ob solche kommen, dürfte nicht zuletzt davon abhängen, wie es bei Apple weitergeht: Die M1-Macs sind der erste Schritt, aber mit allen Komponenten in einem SoC-Prozessor auch der einfachste. Im bisherigen MacBook Pro 16 steckt hingegen wie im iMac bislang ein Grafikchip zusätzlich zur Intel-CPU; den Mac Pro kann man mit gängigen PCIe-Grafikkarten erweitern. Ob Apple für diese Baureihen künftig potentere ARM-CPUs mit zugekaufter Radeon-GPU vorsieht oder sich wie Intel neuerdings ebenfalls an leistungsstarken eigenen Grafikchips versuchen will, ist derzeit nicht bekannt. Gleiches gilt für konzeptionelle Änderungen: Touchscreen, Stiftbedienung oder FaceID gibt es weiterhin nur bei iPads, aber nicht bei MacBooks – obwohl die Pendants bei Windows-Notebooks weit verbreitet sind.

## Fazit

Dass gleich der erste ARM-Prozessor für Macs, der M1, ein so großer Wurf werden würde, wurde wohl selbst Apple erst bewusst, als nach langer Entwicklung alle Fäden zusammengelaufen sind. Nach den Ryzen-4000-Prozessoren für Notebooks ist das wiederum das zweite Mal, dass Intel anno 2020 aufgezeigt bekommt, welche Auswirkungen jahrelange eher kleine Fortschritte und Verzögerungen durch einen an die Wand gefahrenen Fertigungsprozess haben. Allerdings hat sich Apple für das noch kommende restliche Mac-Lineup mit leistungsstärkeren Komponenten die Latte nun selbst ziemlich hoch gelegt. Zudem ist



## Apple MacBook Air

Seit Steve Jobs das erste MacBook Air aus einer Versandtasche gezogen hat, hängt der Baureihe der Nimbus eines besonders flachen und leichten Geräts an – doch das ist überholt: Es gibt seit Jahren flachere Notebooks und erst recht welche, die deutlich leichter sind als Apples 1,3-Kilo-Maschine; die Latte liegt bei unter 900 Gramm. Spitze Zungen behaupteten bislang, das Air stünde nur noch für die Luft, die der Lüfter im Inneren bewegt, doch auch das fällt jetzt weg: Der M1 wird hier lüfterlos gekühlt, weshalb das Notebook durchgängig lautlos agiert. Bei länger anhaltender Rechenlast knickt die Performance deshalb ein, doch das ist bei Windows-Notebooks mit passiver Kühlung nicht anders.

Die vergleichsweise breiten Bildschirmränder wirken anachronistisch, ändern aber nichts daran, dass man ein rundum tolles Display vorfindet: Es ist hell, farbstarke, hat eine hohe Auflösung und kommt traditionell im arbeitsfreundlichen Seitenverhältnis 16:10 daher. Die 720p-Webcam im Bildschirmrahmen liefert allerdings nur mittelmäßige Bilder – kein Vergleich zu den FaceTime-Selfie-Kameras in iPad und iPhone.

Das große Touchpad ist wiederum über jeden Zweifel erhaben. Zudem gefällt das Tippgefühl der beleuchteten Tastatur: Nachdem die unsäglichen Butterfly-Tasten bereits Ende 2019 aussortiert wurden, fühlen sich nun auch Vielschreiber wieder wohl. Der in die Tastatur integrierte Einschalter dient gleichzeitig als TouchID-Fingerabdruckleser.

Apple verkauft das MacBook Air in drei Gehäusefarben (Gold, Silber, Space Grau) ab 1100,50 Euro. Das Testgerät mit 8 GByte Arbeitsspeicher und 256-GByte-SSD entspricht der Minimalkonfiguration; optional sind 16 GByte Arbeitsspeicher und bis zu 2 TByte Speicherplatz möglich. Ausstattungsvarianten mit dem M1, der alle acht statt nur sieben GPU-Cores nutzt, kosten ab 1364,70 Euro – beziehungsweise 39 Euro Aufpreis bei identischer SSD-Kapazität (512 GByte).

Apple legt dem MacBook Air nur ein mageres 30-Watt-Netzteil bei, weshalb das Laden im Betrieb lange dauert. Es findet an beiden USB-C-Buchsen Anschluss, die zudem Display-Port-Signale ausgeben und Thunderbolt unterstützen. Ein analoger Audio-Ausgang ist vorhanden, ein Kartenleser fehlt.

---

**Preis: ab 1100,50 Euro**



## Apple MacBook Pro

Das MacBook Pro ist mehr zweieiiger Zwilling denn großer Bruder des MacBook Air, weil man die meisten Annehmlichkeiten bei beiden Notebooks vorfindet. Bei den Schnittstellen und der mauen Webcam gibt es keine Unterschiede zum Air. Der 13,3-Zoll-Bildschirm weist mit 2560er-Auflösung, DCI-P3-Abdeckung und 16:10-Seitenverhältnis identische Eckdaten auf, leuchtet mit über 430 cd/m<sup>2</sup> aber nochmal ein ganzes Stück heller.

Die Differenzierung zwischen M1-Air und M1-Pro erfolgt in wenigen weiteren Details. So ist der M1 immer im Maximalausbau mit acht GPU-Kernen eingebaut, und der Chip wird aktiv gekühlt. Letzteres sorgt vor allem für mehr und konstantere Rechenleistung bei länger andauernden Berechnungen. Man muss den M1 allerdings gehörig unter Last setzen und gleichzeitig den Akku laden, damit der Lüfter zu Rauschen beginnt – in der Regel hört man nichts.

Das Touchpad ist hier noch etwas größer geraten als beim Air, auf der Tastatur tippt es sich gleich gut. Im MacBook Pro gibt es statt der Funktionstasten die Eingabezeile TouchBar: Anwendungen können dort kontextabhängig Befehle einblenden. Wer die klassischen Funktionstasten häufig benötigt, muss sich umgewöhnen – und blind tippen geht generell nicht, weil es weder spürbare Tastengrenzen noch Druckpunkte gibt.

Anders als beim MacBook Air läuft der Rumpf des MacBook Pro vorne nicht spitz zu, was Platz für einen größeren Akku schafft – und dementsprechend längere Laufzeiten von fast 28,5 Stunden. Dieser Maximalwert gilt bei 100 cd/m<sup>2</sup> Helligkeit und ruhen dem Desktop. Bei 200 cd/m<sup>2</sup> (also halber Maximalhelligkeit) war der Akku bei einem 1080p-Video in Dauerschleife „schon“ nach weniger als 14 Stunden leer. Apropos Stromversorgung: Hier legt Apple ein stärkeres 61-Watt-Netzteil mit in den Karton, was für deutlich flotteres Laden im laufenden Betrieb sorgt.

Die Preise beginnen bei 1412,45 Euro (256-GByte-SSD, 8 GByte Arbeitsspeicher). Im Vollausbau mit 2-TByte-SSD und 16 GByte Arbeitsspeicher stehen über 2500 Euro auf dem Preisschild. Das Gehäuse gibt es in Space Grau oder Silber. Parallel verkauft Apple das bisherige MacBook Pro mit Intel-Prozessoren weiter. Ausschließlich dort gibt es bis zu 32 GByte Arbeitsspeicher und maximal 4 TByte SSD-Speicherplatz – und vier statt nur zwei Thunderbolt-Buchsen.

**Preis: ab 1412,45 Euro**



## Apple Mac Mini

Der Mac Mini ist der einzige Desktop-PC mit einem ARM-Prozessor von Apple und zudem mit einem Startpreis unterhalb von 800 Euro das günstigste M1-Gerät – wengleich zur Nutzung hier freilich mindestens noch Tastatur, Maus und ein Monitor erforderlich sind. Das Angebot an Schnittstellen ist dementsprechend größer als bei den beiden MacBooks: Zu den zwei Thunderbolt-fähigen USB-C-Buchsen und dem Audio-Anschluss gesellen sich ein HDMI-Ausgang, zwei USB-A-Buchsen und (ergänzend zum drahtlosen Wi-Fi 6) eine Gigabit-LAN-Buchse hinzu. Die USB-C-Buchsen unterstützen Monitore bis 6K, über HDMI kann man ein 4K-Display betreiben (jeweils mit 60 Hertz).

Im Inneren des ausschließlich in Silber erhältlichen Mac Mini ist viel Leerraum – offensichtlich hat sich Apple dafür entschieden, die bisherigen Gehäuseabmessungen beizubehalten, damit beliebte Peripherie wie Hinter-dem-Monitor-Halterungen weiterverwendet werden kann. Nutzen lässt sich der freie Bauraum aber nicht: Es gibt keine leeren PCIe-Steckplätze oder SATA-Schächte. Wie bei den MacBooks sind Arbeitsspeicher und SSD auf die Hauptplatine gelötet, sodass auch Aufrüsten flachfällt. Apple verkauft den M1-Mini wie die MacBooks mit 8 oder 16 GByte Arbeitsspeicher und SSD-Kapazitäten zwischen 256 GByte und 2 TByte.

Parallel ist weiterhin das bisherige Intel-Modell (in Space Grau) erhältlich, in dem betagte 14-Nanometer-Prozessoren der achten Core-i-Generation stecken – Intel verkauft aktuell je nach Baureihe solche der zehnten oder elften Generation. Mehr als 2 TByte SSD-Speicherplatz findet man auch im Intel-Mini nicht, wohl aber mehr Arbeitsspeicher: Auf Wunsch sind 32 oder gar 64 GByte möglich. Ebenfalls Intel-exklusiv ist eine optionale LAN-Buchse der NBase-T-Klasse bis 10 GBit/s. Trotz identischen Namens sind die Intel-Minis damit eher kompakte Workstation denn Arbeitsplatzrechner.

Sowohl Intel- als auch M1-Mini verwenden dasselbe interne 150-Watt-Netzteil, welches in letzterem Fall nicht mal ansatzweise ausgenutzt wird: Wir haben unter Rechenlast nie mehr als 30 Watt Energieaufnahme mit einem angeschlossenen 4K-Monitor gemessen. Wie beim MacBook Pro sorgt der Lüfter für konstante Performance, ohne dabei störend zu rauschen – bravo!

**Preis: ab 778,85 Euro**

abzusehen, dass die Compiler-Trumpfkarte und andere Aspekte nur einmal einen Boost bringen: Der zu erwartende Performance-Gewinn beim kommenden Generationswechsel von M1 auf „M2“ dürfte kleiner ausfallen als von Intel zu M1.

Early Adopter müssen sich der anfänglichen Einschränkungen bewusst sein; einen echten Showstopper gibt es aber nicht. Wer schon jetzt den Umstieg

wagt, bekommt mit den ersten drei ARM-Macs alle M1-Neuerungen in bekannten Bauformen und stimmigen Zusammenstellungen serviert. Im MacBook Pro und im Mac Mini liefert der M1 zwar eine höhere Leistung als im MacBook Air, dennoch ist letzteres der heimliche Star: So viel Performance bei gleichzeitig durchgängig lautlosem Betrieb sucht man bei Windows-Notebooks vergeblich.

(mue@ct.de) 

### Literatur

- [1] Florian Müssig, Mobiler Fünfkerner, Samsung Galaxy Book S mit Lakefield-Prozessor Core i5-L16G7, c't 16/2020, S. 64
- [2] Florian Müssig, USB 3.2 ist tot, es lebe USB 4, Das USB-Namenschaos geht weiter, c't 26/2020, S. 140
- [3] Benjamin Kraft, Alles M1!, Erste Benchmarks mit Apples neuen ARM-Macs, c't 26/2020, S. 44
- [4] Steffen Herget, Florian Müssig, Kleiner Schritt, Surface Pro X mit neuem ARM-Prozessor, c't 25/2020, S. 88
- [5] Dušan Živadinović, Apple-Dienste untergraben Netzwerkfilter, c't 24/2020, S. 50

## Macs mit M1-Prozessor: Daten und Testergebnisse

Modell	Apple MacBook Air	Apple MacBook Pro	Apple Mac Mini
getestete Konfiguration	MGN63D/A	MYD82D/A	CZ12N-0110
Lieferumfang	macOS 11 64 Bit, Netzteil	macOS 11 64 Bit, Netzteil	macOS 11 64 Bit, Netzkabel
<b>Schnittstellen (V = vorne, H = hinten, L = links, R = rechts, U = unten)</b>			
VGA / DVI / HDMI / DisplayPort / Kamera	- / - / - / - / ✓	- / - / - / - / ✓	- / - / H / - / -
USB 2.0 / USB 3.0 / USB 3.1 / LAN	- / - / 2 x L (2 x Typ C) / -	- / - / 2 x L (2 x Typ C) / -	- / 2 x H / 2 x H (2 x Typ C) / H
Kartenleser / Strom / Docking-Anschluss	- / - / -	- / - / -	- / H / -
USB-C: Thunderbolt / USB 3.0 / USB 3.1 / Display-Port / Laden	✓ / ✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓ / ✓	✓ / ✓ / ✓ / ✓ / -
<b>Ausstattung</b>			
Display	13,3 Zoll / 33,7 cm, 2560 x 1600, 16:10, 227 dpi, 4 ... 356 cd/m², spiegelnd	13,3 Zoll / 33,7 cm, 2560 x 1600, 16:10, 227 dpi, 4 ... 439 cd/m², spiegelnd	-
Prozessor	Apple M1 (8 Kerne), Turbo bis 3,2 GHz, 16 MByte L2-, 16 MByte L3-Cache	Apple M1 (8 Kerne), Turbo bis 3,2 GHz, 16 MByte L2-, 16 MByte L3-Cache	Apple M1 (8 Kerne), Turbo bis 3,2 GHz, 16 MByte L2-, 16 MByte L3-Cache
Hauptspeicher / Chipsatz	8 GByte LPDDR4x-4267 / Apple M1-SoC	8 GByte LPDDR4x-4267 / Apple M1-SoC	16 GByte LPDDR4x-4267 / Apple M1-SoC
Grafikchip (Speicher) / mit Hybridgrafik	int.: Apple M1 mit 7 GPU-Cores (vom Hauptspeicher) / -	int.: Apple M1 mit 8 GPU-Cores (vom Hauptspeicher) / -	int.: Apple M1 mit 8 GPU-Cores (vom Hauptspeicher) / -
Sound	int.: Apple M1	int.: Apple M1	int.: Apple M1
LAN / WLAN	- / int.: Apple (Wi-Fi 6, 2 Streams)	- / int.: Apple (Wi-Fi 6, 2 Streams)	PCIe: Broadcom BCM57762 (Gbit) / int.: Apple (Wi-Fi 6, 2 Streams)
Mobilfunk / Bluetooth (Stack)	- / int.: Apple (Apple)	- / int.: Apple (Apple)	- / int.: Apple (Apple)
Touchpad (Gesten) / TPM / Fingerabdruckleser	int.: Apple (max. 4 Finger) / Apple T2 / Apple TouchID	int.: Apple (max. 4 Finger) / Apple T2 / Apple TouchID	- / Apple T2 / -
Massenspeicher / optisches Laufwerk	SSD: Apple M1 (256 GByte) / -	SSD: Apple M1 (256 GByte) / -	SSD: Apple M1 (512 GByte) / -
<b>Stromversorgung, Maße, Gewicht</b>			
Akku (Ladestopp < 100 % möglich)	50 Wh Lithium-Ionen (✓)	58 Wh Lithium-Ionen (✓)	-
Netzteil	30 W, 172 g, 5,6 cm x 5,6 cm x 2,8 cm, Steckernetzteil	61 W, 271 g, 7,3 cm x 7,3 cm x 2,8 cm, Steckernetzteil	150 W, Kleingerätestecker
Gewicht / Größe / Dicke mit Füßen	1,28 kg / 30,4 cm x 21,2 cm / 1,3 ... 1,6 cm	1,38 kg / 30,4 cm x 21,2 cm / 1,6 cm	1,2 kg / 19,7 cm x 19,7 cm / 3,6 cm
Tastaturhöhe / Tastenraster	0,9 cm / 19 mm x 18,5 mm	1,1 cm / 19 mm x 18,5 mm	-
<b>Leistungsaufnahme</b>			
Suspend / ausgeschaltet	0,4 W / 0,4 W	0,4 W / 0,2 W	0,4 W / 0,3 W
ohne Last: Display aus / 100 cd/m² / max	1,7 W / 3,3 W / 7 W	1,8 W / 3,2 W / 6,9 W	4,9 W (mit 4K-HDMI-Monitor)
CPU-Last / Video (max. Helligkeit)	28 W / 8,4 W	28 W / 8,5 W	23 W / 5,9 W
max. Leistungsaufnahme / Netzteil-Powerfactor	31 W / 0,56	65 W / 0,55	30 W / 0,78
<b>Laufzeit, Geräusch, Benchmarks</b>			
Laufzeit Idle (100 cd/m²) / Video (200 cd/m²)	21,6 h / 12,3 h	28,3 h / 13,6 h	-
Ladestand / Laufzeit nach 1h Laden	39 % / 8,5 h	68 % / 19,1 h	-
Geräusch ohne / mit Rechenlast	-	< 0,1 Sone / < 0,1 Sone	< 0,1 Sone / < 0,1 Sone
Massenspeicher lesen / schreiben	2743 / 2236 MByte/s	2748 / 2284 MByte/s	2701 / 3034 MByte/s
WLAN 5 GHz / 2,4 GHz (20m) / MU-MIMO-fähig	39,3 / 14 MByte/s / ✓	51,3 / 14,5 MByte/s / ✓	17,5 / 14,4 MByte/s / ✓
Qualität Audioausgang / Dynamikumfang	⊕⊕ / 115,8 dBA	⊕⊕ / 115,8 dBA	⊕⊕ / 115,3 dBA
Cinebench R23 Rendering (1 / n CPU)	1494 / 7340	1517 / 7786	1523 / 7732
<b>Preis und Garantie</b>			
Preis Testkonfiguration	1100,50 €	1412,45 €	1227,25 €
Garantie	1 Jahr (erweiterbar)	1 Jahr (erweiterbar)	1 Jahr (erweiterbar)
Startpreis	1100,50 €	1412,45 €	778,85 €
Optionen (Aufpreise ab Basismodell)	RAM: 16 GByte (224,20 €); SSD: 512 GByte (224,20 €), 1 TByte (448,40 €), 2 TByte (896,80 €), Garantieverlängerung auf 3 Jahre (249 €); M1 mit 8 GPU-Cores (39 €, aber erst ab 512-GByte-SSD)	RAM: 16 GByte (224,20 €); SSD: 512 GByte (224,20 €), 1 TByte (448,40 €), 2 TByte (896,80 €), Garantieverlängerung auf 3 Jahre (299 €)	RAM: 16 GByte (224,20 €); SSD: 512 GByte (224,20 €), 1 TByte (448,40 €), 2 TByte (896,80 €), Garantieverlängerung auf 3 Jahre (119 €)

⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht ✓ vorhanden - nicht vorhanden k.A. keine Angabe