

Universität Hamburg
Department Informatik
Scientific Computing

SRAM und DRAM - Eine Übersicht

Proseminararbeit

Speicher- und Dateisysteme

Simon Oelgeschläger

Matr.Nr. 6930356

6oelgesc@informatik.uni-hamburg.de

28.02.2019

Kurzfassung

In Zeiten des digitalen Fortschritts kommt auch den verwendeten Speichermöglichkeiten eine immer wichtigere Rolle in unserem Leben zu. Weltweit werden nicht nur immer mehr Daten generiert und gesammelt, diese müssen auch immer schneller für Evaluierungen und Analysen zur Verfügung stehen. Handelte es sich in den letzten Jahrzehnten bei den standardmäßig genutzten Speichern noch größtenteils um Magnetspeicher oder optische Lösungen, hat sich mittlerweile die Speicherung von Daten in Halbleiterspeichern durchgesetzt. Lediglich zur Langzeitarchivierung oder aus Kostengründen werden noch Magnetbänder und ähnliches verwendet. Rechenleistungen aller Geräte werden stetig erhöht, gleichzeitig müssen die großen Datenmengen schnell verarbeitet werden. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, bedarf es nicht nur Modulen mit immensem Speicherplatz, sondern auch sehr schnell und flexibel agierender Zwischenspeicher mit niedrigen Zugriffslatenzen und hohem Datendurchsatz. In dieser Arbeit werden die beiden zentralen Speicherbausteine eines elektronischen Rechners betrachtet, welche für jegliche Aufgaben des Systems essentiell sind. Die Rede ist von SRAM (Static Random Access Memory) sowie DRAM (Dynamic Random Access Memory), zwei einander ähnliche Technologien mit jeweils fest definiertem Einsatzgebiet. Sowohl SRAM als auch DRAM sind aus Halbleiterbauelementen aufgebaut, beim DRAM ist dies ein integrierter Schaltkreis aus einem Schalttransistor und einem Kondensator. Eine SRAM-Zelle hingegen ist meistens aus sechs Transistoren aufgebaut. Beide Speicherarten haben eine gitterartige Anordnung der einzelnen Zellen gemein, dies ermöglicht einen effektiven, schnellen und wahlfreien Zugriff auf die gespeicherten Daten. Der als Cache in Prozessoren verwendete SRAM weist eine sehr geringe Latenz bei Zugriffen auf und hat eine durch andere Technologien unerreichte Geschwindigkeit. Dies wird durch Einschränkungen in der Kapazität durch Platzmangel und dem daraus resultierenden hohen Preis erkauft. DRAM wird als Arbeitsspeicher verwendet und stellt die Schnittstelle zwischen Prozessor und Hauptspeicher dar. Arbeitsspeicher nimmt hinsichtlich der Geschwindigkeit, der Speicherkapazität und dem Preis pro Byte einen Platz zwischen Cache und Festplatte ein. Keine dieser Speicherarten lässt sich als Universallösung sehen, es werden Kompromisse eingegangen, um das jeweilige Produkt für seinen Einsatzbereich zu optimieren. Aus diesem Grund ergänzen sich beide Technologien in modernen Systemarchitekturen sehr gut, es werden Schwachstellen des anderen durch eigene Stärken minimiert und somit ein optimaler Betrieb gewährleistet. Trotzdem wird intensiv an Alternativen geforscht, die mehrere Punkte der Anforderungen abdecken. So sind besonders nichtflüchtige Speicher in Entwicklung [1], die Zugriffslatenzen im Bereich von DRAM-Modulen und besser haben, gleichzeitig aber sogar weniger Strom benötigen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Datenspeicher	3
3	Speicherarten	4
3.1	Dynamic Random Access Memory	4
3.2	Static Random Access Memory	6
4	Vergleiche	8
5	Zusammenfassung	10
	Literaturverzeichnis	11

1 Einleitung

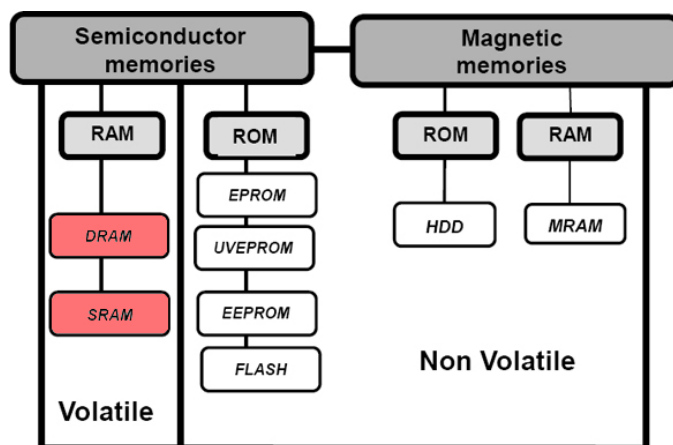
Diese Arbeit ist mit dem Ziel konzipiert, dem Leser anhand von Anforderungen und Problemen moderner Computersysteme einen detaillierten, aber gleichzeitig breit gefächerten Überblick über die Speicherarten SRAM und DRAM zu vermitteln. Dabei wird der Fokus auf verschiedene interdisziplinäre Bereiche gesetzt, welche allesamt zu dem Erfolg in den ubiquitären Einsatzgebieten dieser Technologie beitragen. Die Hindernisse, die dafür überwunden werden müssen, lassen sich leicht erkennen: Das digitale Zeitalter hat sich durch alle Gesellschaftsschichten und Wirtschaftszweige hinweg durchgesetzt, es gibt kaum einen Ort oder eine Branche mehr, die nicht von elektronischen und neuerdings mitunter sogar intelligenten technologischen Mitteln profitiert. Durch den technischen Fortschritt können nicht nur immer kleinere und mobilere Rechner, sondern auch immer leistungsstärkere sowie größere Supercomputer entwickelt werden. Hier kommt es vor allen Dingen auf zwei Aspekte an; zum einen werden möglichst effiziente und leistungsfähige Prozessoren benötigt, die mit minimaler Wärmeentwicklung sowie geringem (relativen) Stromverbrauch die an sie gestellten Aufgaben in kürzester Zeit erledigen. Die Ziele mögen dabei auf den ersten Blick weit auseinander gehen, da ein mobile-CPU in einem modernen Smartphone eine Leistungsaufnahme von nur wenigen Watt aufweisen darf und keine aktive Kühlung besitzt, während ein Hochleistungsprozessor in riesigen Hallen, mit praktisch unbegrenzter Stromversorgung arbeitet und dabei mitunter sogar eine eigene Flüssigkühlung spendiert bekommt. Trotzdem lassen sich hier die Anforderungen praktisch identisch ablesen: maximale Effizienz, also geringstmöglicher Stromverbrauch, sowie Hitzeentwicklung, bei höchstmöglicher Rechenleistung. Nur wenn dies im Rahmen des technologischen Standards eingehalten wird, kann ein Produkt am Markt Erfolg haben. Sucht man nun den zweiten Aspekt, wird schnell klar, worum es sich handelt, denn die riesigen Datenmengen, die ein Prozessor braucht und gleichzeitig auch produziert, müssen natürlich bereitgestellt und für weitere Aufgaben gehalten werden. Dies erfordert nicht nur einfach einen Speicher mit hoher Kapazität, sondern eine Vielzahl an unterschiedlichen Speichertechnologien mit jeweils hochspezifischem Einsatzgebiet sowie Charakteristika. Jedem Leser dürften sicherlich die weit verbreiteten Festplatten ein Begriff sein, aber *Speicher* umfasst viel mehr als nur dies; und selbst Festplatten basieren heutzutage nicht mehr nur auf einer Technologie. Das ganze Spektrum an Speichermöglichkeiten ist sehr bunt und bietet für jeden Anforderungsbereich das passende Produkt, von der Langzeitspeicherung auf Magnetbändern, über die im Privatbereich beliebten HDD-Festplatten, vorbei an den USB-Sticks bis hin zu schnellem Arbeitsspeicher und noch viel schnelleren Speicherregistern in Prozessoren. Alle Technologien haben eins gemeinsam: Sie erlauben es, Daten in einer bestimmten Kodierung (beispielsweise binär bei modernen Computern) zu speichern und zum erneuten Lesen, sowie meistens auch zum wiederholten Schreiben zur Verfügung zu stellen. Über diese grundlegenden Anforderungen hinaus haben viele Speicherarten meist keine großen Gemeinsamkeiten mehr. So gibt es Speicher, die eine ständige Stromversorgung zum Erhalt der Daten benötigen und diese im normalen Betrieb auch nur Bruchteile von Sekunden speichern. Dem gegenüber gestellt existieren natürlich auch Möglichkeiten zur Speicherung von Daten in extremen Umgebungen über viele Jahre hinweg. Auch in der Kapazität unterscheiden sich die Anforderungen an die Speichertechnologien stark; so kann ein einzelnes Register in einem Prozessor vielleicht nur einige Bit speichern, ein Magnetband hingegen kann teilweise über 100 TB an Daten speichern, ein Unterschied von immerhin etwa 14 Zehnerpotenzen. Die in dieser Arbeit betrachteten Speichermodule, SRAM und DRAM, lassen sich in dieses Schema gut einordnen; beide sind vergleichsweise schnell arbeitend und halten dafür nur relativ wenige

Daten pro Modul, die Kapazität liegt hier im Mega- bis Gigabyte-Bereich. Im Folgenden wird eine noch genauere Einordnung vorgenommen, die grundlegenden technischen Funktionsweisen werden erläutert, sowie jeweilige Vor- und Nachteile gegenübergestellt.

2 Datenspeicher

Ein Speichermedium ist zuallererst ein beliebiges Medium, welches das zumindest temporäre Speichern von irgendeiner Form von Daten erlaubt. Dies können Schriftrollen und Bücher, aber auch CDs und Festplatten sein. Wir befassen uns in dieser Arbeit mit elektronischen Speichermedien, also Technologien, die Daten mithilfe von Schaltkreisen speichern. Diese sogenannten Halbleiterspeicher bestehen aus vielen Halbleiterbauelementen, die meist zu einem integrierten Schaltkreis zusammengefasst sind. Darin werden die Informationen binär kodiert gespeichert, dies geschieht durch die einfache Analogie der logischen 1 zu einem Stromfluss beziehungsweise einer anliegenden Spannung, und der logischen 0 entsprechend zu keiner anliegenden Spannung. In dieser Gruppe der Halbleiterspeicher gibt es zwei große Untergruppen, die flüchtigen, englisch 'volatile', sowie die nichtflüchtigen 'non-volatile' Speicher. Der Unterschied liegt hier passend zum Namen darin, dass flüchtige Speicher eine permanent anliegende Spannung benötigen, um die Informationen dauerhaft speichern zu können; dies ist bei nichtflüchtigen Speichern nicht der Fall, die Informationen bleiben in der Theorie beliebig lange gespeichert, auch wenn keine Stromversorgung vorliegt. Ein bekannter Vertreter der nichtflüchtigen Halbleiterspeicher ist die SSD, die Daten bleiben auch erhalten, wenn der Computer heruntergefahren und vom Strom getrennt wurde. Die für diese Arbeit relevanten Technologien, SRAM und DRAM, fallen in die andere Kategorie, gehören also zu den flüchtigen Speichern.

Abbildung 1: Einordnung verschiedener Speichertechnologien



Quelle: <https://www.book-ebooks.com/products/reading-epub/product-id/2998977/title/Non-volatile%2BMemories.html?autr=%22Jean-Claude+Lacroix%22>

Generell ermöglichen Halbleiterspeicher es, auf die gespeicherten Informationen wahlfrei zuzugreifen, das bedeutet, dass nicht wie beispielsweise bei einer Kassette erst durch alle am Anfang gespeicherten Daten durchgespult werden muss, um eine dahinter liegende Information auszu-lesen. Somit ist die Zugriffszeit auf ein beliebiges Datenstück im Speicher stets konstant und

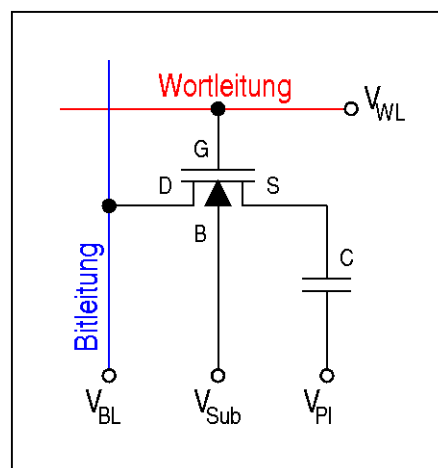
hängt nicht vom genauen Speicherort ab. Dieser wahlfreie Zugriff wird 'random access' genannt, sodass diese Module im Englischen als 'random access memory', kurz 'RAM' bezeichnet werden; wir verwenden diese Bezeichnung ab hier auch. Nun lässt sich auch eine genaue Einordnung von SRAM und DRAM vornehmen; SRAM steht hierbei für 'static random access memory', DRAM für 'dynamic random access memory'. Da sich 'static' und 'dynamic' entsprechend in statisch und dynamisch übersetzen lassen, wird der Hauptunterschied ersichtlich: SRAM benötigt für den Betrieb nur eine konstant anliegende Spannung, bei DRAM müssen die Informationen dynamisch immer wieder erneuert werden. Zum genaueren Verständnis werden beide Technologien nun detailliert vorgestellt.

3 Speicherarten

3.1 Dynamic Random Access Memory

Dynamic Random Access Memory, kurz DRAM, ist eine Art Halbleiterspeicher, welche jedes Datenbit in einem Kondensator innerhalb eines integrierten Schaltkreises speichert. Dabei handelt es sich wie bereits erwähnt um eine flüchtige Speichertechnologie, zum Erhalt der Informationen muss also permanent eine Spannung anliegen. Das allein reicht jedoch beim DRAM nicht aus, hier muss jedes gespeicherte Datenbit periodisch ausgelesen und direkt zurückgeschrieben werden, dies gibt dem Speicher den Namensteil 'dynamic'. Grundlegend bietet DRAM einige positive Aspekte, wie etwa eine symmetrische Lese- und Schreibgeschwindigkeit, eine lange Lebensdauer der Speicherzellen sowie ein im normalen Anwendungsgebiet gutes Preis-/Leistungsverhältnis, so dass die Module auch von Privatpersonen sehr einfach im Handel erworben und genutzt werden können. Ein DRAM-Modul besteht aus vielen, heutzutage einigen Milliarden, Speicherzellen, welche jeweils 1 Bit speichern können.

Abbildung 2: Aufbau einer DRAM-Zelle

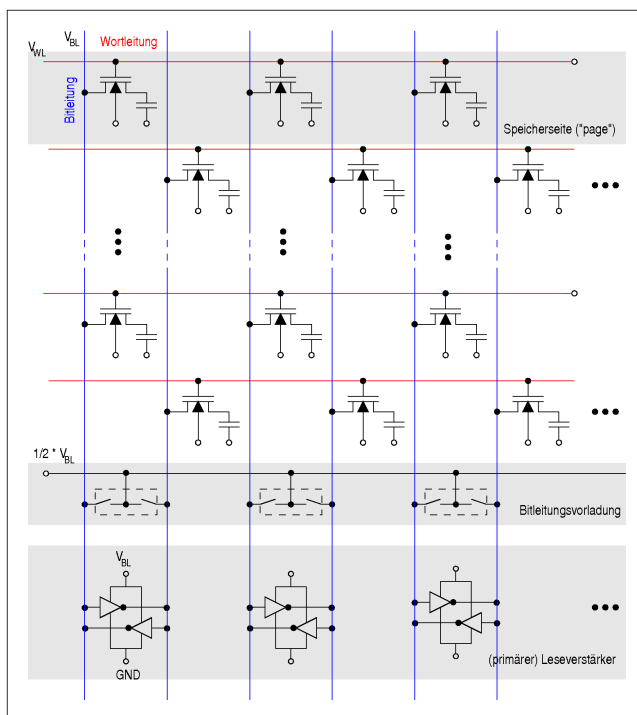


Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DRAM_Zelle.png

Diese Zellen sind jeweils aus einem Transistor und einem Kondensator aufgebaut; der Ladezustand des Kondensators entspricht dabei der gespeicherten Information: vollständig geladen

entspricht er der logischen 1, entladen der 0. Der Transistor wirkt in dieser Schaltung wie ein Schalter, der kontrolliert, ob auf den Kondensator zugegriffen wird oder nicht. Die Zellen sind gitterartig angeordnet (siehe Abbildung 3) und jeweils an eine Wort- und an eine Bitleitung angeschlossen, mit deren Hilfe die Zellen ausgewählt und ausgelesen werden. Um Daten lesen zu können, wird zuerst die der gewünschten Zeile entsprechende Wortleitung aktiviert, es wird also eine Spannung angelegt. Dies sorgt dafür, dass alle Transistoren in der Zeile geöffnet werden und den Kondensator der Zelle mit der jeweiligen Bitleitung verbinden. Je nach Ladungszustand des Kondensators wird dadurch die Spannung in der Bitleitung leicht erhöht oder gesenkt. Dieser Unterschied wird nun den Leseverstärkern verstärkt und als praktisch binäre Information weitergegeben: Gibt der Leseverstärker an seinem Ausgang eine Spannung von beispielsweise 1 Volt aus, war in dem Kondensator eine 1 gespeichert; liegt keine Spannung am Ausgang an, war es eine 0. Der Schreibvorgang funktioniert ähnlich, hier wird vom Verstärker die Bitleitung mit dem zu speichernden Wert geladen, also im Regelfall mit entweder 0 oder 1 Volt. Nun wird der Kondensator über den aktivierten und damit leitenden Transistor mit der Bitleitung verbunden und nimmt deren Ladung an. Danach wird der Transistor wieder nichtleitend gestellt, der Kondensator hat nun eine Ladung, welche dem gespeicherten Datenbit entspricht.

Abbildung 3: Gitterstruktur eines DRAM-Moduls



Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DRAM_Zellenfeld.png

Diese beiden Vorgänge nehmen zwar jeweils eine identische Zeit in Anspruch, aber jeder Lesevorgang muss von einem Schreibvorgang gefolgt werden, da beim Lesen die Information im Kondensator verloren geht und somit immer zurückgeschrieben werden muss. Um diesen Nachteil etwas auszugleichen, werden zusammengehörige Daten möglichst in einer Zeile gespeichert, damit eine größere Menge gleichzeitig in einem Vorgang ausgelesen werden kann, da pro Modul zu jedem

Zeitpunkt nur auf eine Zeile gleichzeitig zugegriffen werden kann. Der Aufbau dieser Module führt aber auch dazu, dass, sollte nur ein Bit ausgelesen werden, trotzdem die gesamte Zeile gelesen und danach wieder geschrieben werden muss.

Wie anfangs erwähnt handelt es sich beim DRAM um einen dynamischen Speicher, die Daten müssen also regelmäßig erneuert werden. Dies liegt daran, dass durch minimale Toleranzen in der Fertigung sowie durch immer auftretende Kriechströme die Ladung im Kondensator stetig abnimmt, sodass nach einiger Zeit nicht mehr feststellbar ist, was für eine Information gespeichert war. Der kritische Zeitpunkt liegt dabei je nach Modul und Hersteller bei einigen hundert Millisekunden. Um einem Datenverlust vorzubeugen wird deshalb standardmäßig alle 64ms jede Zeile des Moduls automatisiert gelesen und wieder geschrieben; dies wird als Refresh [2] bezeichnet.

Der technische Fortschritt bei DRAM Modulen verläuft momentan ähnlich wie die nach Mooreschem Gesetz bekannte Verdopplung von Transistoren in Prozessoren etwa alle 18 Monate; bei den Speichern verdoppelt sich etwa alle zwei Jahre die Kapazität. Die Zugriffszeiten verbessern sich hingegen nur noch leicht [3], hier wird Fortschritt auch eher durch optimierte Algorithmen, als durch verbesserte Hardware gemacht. Dies lässt sich hauptsächlich durch physikalische Beschränkungen der immer kleiner werdenden Bauelemente begründen, da man hier immer häufiger auf Grenzen stößt, die neue Lösungsansätze erfordern - welche Zeit für die Entwicklung benötigen. Als zusätzliches Forschungsziel ist hier der Versuch zu nennen, den größten Nachteil, die Flüchtigkeit, des DRAMs zu beseitigen, also einen schnellen und kostengünstigen Speicher zu entwickeln, welcher nicht bei Verlust der Stromversorgung alle gespeicherten Daten verliert.

Heutzutage werden in nahezu jedem Gerät mit einem Rechenchip, also einem Prozessor, Weiterentwicklungen von DRAM verwendet. Hier ist zuerst der SDRAM zu nennen, was für 'Synchronous-DRAM' steht. Diese Module wurden weltweit als Arbeitsspeicher eingesetzt, um die vom Prozessor benötigten Daten aus dem langsameren Hauptspeicher zu holen und nach erfolgter Berechnung wieder hineinzuschreiben, ohne den Prozessor auszubremsen, indem dieser etwa auf Daten aus einer HDD warten muss. Die Synchronität bedeutet in diesem Fall, dass die Zugriffszyklen durch den Prozessor getaktet werden, um minimale Latenzen zu erreichen. Der Nachfolger dieser Technologie heißt 'Double Data Rate-SDRAM', hier wird eine Verdopplung der Geschwindigkeit erreicht, indem zwei Mal pro Zugriffstakt Daten übertragen werden können. Die DDR-SDRAM Module der 4. Generation sind als Standard anzusehen und werden in den nächsten Jahren durch die 5. Generation abgelöst [4]. Unterscheiden lässt sich aber auch hier noch einmal zwischen den Modulen als Arbeitsspeicher in Desktop-Computern und Servern, den deutlich schnelleren, aber teureren Grafikspeichern 'GDDR-SDRAM', sowie den stromsparenden Low Power Modulen 'LPDDR-SDRAM' für Laptops und Smartphones.

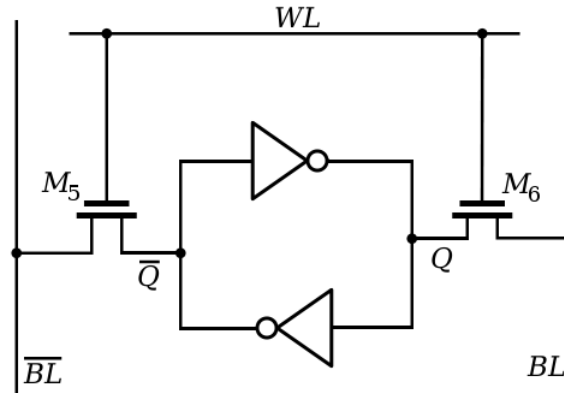
3.2 Static Random Access Memory

Static Random Access Memory, kurz SRAM ist eine Speicherart, bei der jedes Datenbit in einem kleinen integrierten Schaltkreis aus meistens sechs Transistoren [5] gespeichert wird. Genau wie DRAM ist auch SRAM ein flüchtiger Speicher, hier reicht es jedoch aus, wenn während des Betriebs eine konstante Spannung anliegt - es muss also kein Refresh oder ähnliches durchgeführt werden. Dennoch sind bei einem möglichen Stromausfall alle Daten sofort unwiderruflich verloren, es ist also praktisch nicht möglich, wie etwa bei DRAM noch nach einigen Sekunden mit speziellen Instrumenten einen vorherigen Zustand zu berechnen.

SRAM bietet sehr schnelle Lese- und Schreibgeschwindigkeiten sowie eine lange Lebensdauer

der Speicherzellen. Der Stromverbrauch im Stand-by ist sehr gering, da kein periodischer Refresh stattfindet, das Modul bleibt also einfach in seinem Zustand.

Abbildung 4: Aufbau einer SRAM-Zelle



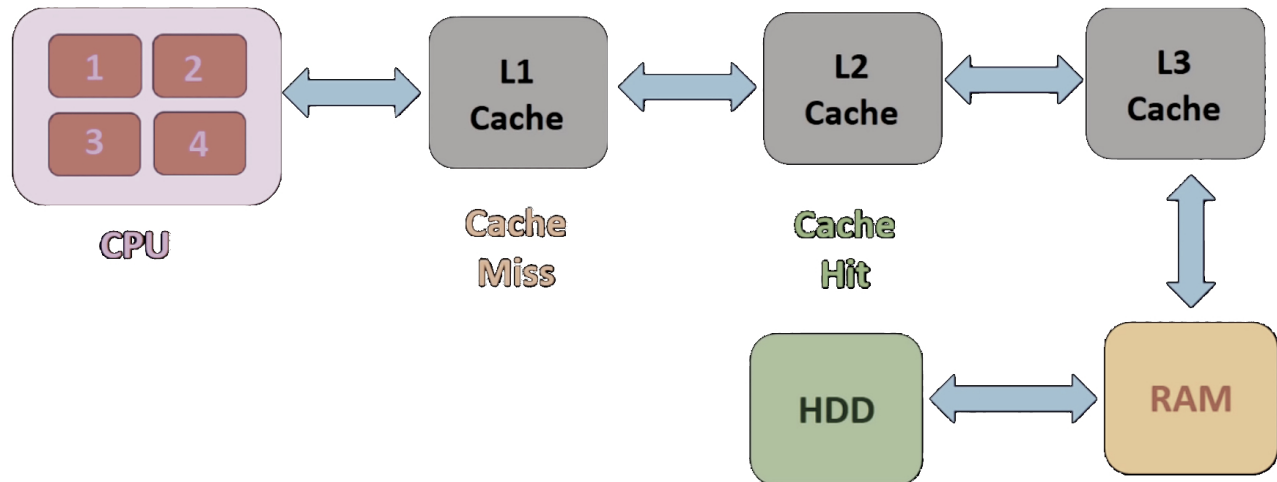
Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SRAM_Cell_Inverter_Loop.png

Eine Speicherzelle besteht aus zwei gegeneinander geschalteten Invertern [6], welche aus jeweils zwei Transistoren aufgebaut sind. Dieses Bauelement ist mit jeweils zwei Schalttransistoren an eine Wort- und zwei Bitleitungen angebunden. Dadurch ergibt sich eine Gesamtzahl von sechs Transistoren pro Zelle. Die Zellen sind ähnlich wie bei DRAM-Modulen in einem Gitter angeordnet: der Zugriff erfolgt wieder pro Zeile mit einer Wortleitung, die Daten werden aber mit zwei Bitleitungen pro Zelle ausgelesen. Die beiden Inverter bilden, da gegeneinander geschaltet, einen selbsterhaltenden und stabilen Zustand, indem auf der einen Seite eine Spannung - logische 1 - anliegt, und auf der anderen Seite keine Spannung, logische 0. Dies wird dadurch erreicht, dass Inverter, welche einen Eingang und einen Ausgang besitzen, an ihrem Ausgang stets das invertierte Signal ihres Eingangs ausgeben. Liegt im Eingang des einen Inverters eine Spannung an, fließt am Ausgang kein Strom. Da die Ausgänge mit den Eingängen des jeweils anderen Inverters verbunden sind, invertiert der zweite Inverter das Signal und gibt somit an seinem Ausgang eine Spannung aus. Dieser Zustand bleibt durch den Aufbau stets erhalten.

Die Lese- und Schreibvorgänge funktionieren analog zu den bei DRAM Speichern: die Wortleitung der jeweiligen Zeile wird aktiviert und verbindet die Zellen mit den Bitleitungen. Dadurch wird eine der beiden Bitleitungen geladen, die andere entladen. Dieser Unterschied wird wieder vom Leserverstärker verstärkt und weitergeleitet. Das Vorgehen bei Schreibvorgängen ist dementsprechend gleich wie beim DRAM.

Eingesetzt wird SRAM hauptsächlich als Cache-Speicher in Prozessoren, beziehungsweise in der Verschaltungsarchitektur möglichst nah an diesen auf einem Mainboard. In der Praxis wird SRAM in verschiedenen Leveln unterschieden. Der L1-Cache ist der kleinste und schnellste verfügbare Speicher und befindet sich unmittelbar neben den Rechenkernen. In der Hierarchie darunter befindet sich der L2-Cache, er ist etwas langsamer, hat aber dafür eine höhere Kapazität und ist direkt mit dem L1-Cache verbunden. In modernen Systemen wird noch ein L3-Cache eingesetzt, dieser ist entsprechend mit dem L2-Cache verbunden und noch etwas langsamer und größer als die beiden anderen.

Abbildung 5: Level-Architektur von SRAM-Cache



Quelle: <https://youtu.be/Zr8WKIOIKsk?t=364>

Diese Struktur wird genutzt, um Speicherengpässe zu minimieren, sowie eine möglichst hohe Taktrate des Prozessors zu ermöglichen, damit dieser nicht jeweils auf einen genügend großen, aber dafür langsamen Speicher warten muss. Damit der Prozessor die benötigten Daten aber jeweils direkt im L1-Cache vorfindet, sind intelligente Algorithmen notwendig, damit Informationen bereits verfügbar sind, bevor sie angefragt werden. Werden die Daten nicht im L1-Cache vorgefunden, spricht man von einem *Cache Miss*, der Prozessor geht nun in der Hierarchie eine Stufe herunter und sucht im L2-Cache usw., bis ein *Cache Hit* erfolgt, die Daten also gefunden wurden.

4 Vergleiche

SRAM und DRAM Module sind keineswegs Konkurrenten, vielmehr ergänzen sie sich jeweils und minimieren so den Einfluss möglicher Schwachstellen. Beide Technologien werden in allen gängigen Computern eingesetzt, SRAM ist dabei meist in Prozessoren und Mainboards integriert, während DRAM-Module zumindest bei größeren Systemen, also Desktop Computern sowie manchen Laptops, eigenhändig eingebaut und ausgetauscht werden kann. Nachdem bereits Aufbau und Funktionsweisen beider Technologien erläutert und eingeordnet wurden, wird nun ein direkter Vergleich durchgeführt, um Gemeinsamkeiten aufzuzeigen und Unterschiede in Zahlen zu fassen.

Abbildung 6: Vergleich verschiedener Speicherarten

	SRAM	DRAM	Flash (NAND)	HDD
Reciprocal density (F^2)	140	6-8	1-4	2/3
Energy per bit (ρJ)	0.0005	0.005	0.00002	$5 \times 10^3 - 10^4$
Read time (ns)	0.1-0.3	6	100 000	$5-8 \times 10^6$
Write time (ns)	0.1-0.3	6	100 000	$5-8 \times 10^6$
Retention	as long as V applied	<<second	years	years
Endurance (cycles)	$> 10^{16}$	$> 10^{16}$	10^5	10^4

Quelle: <https://www.book-ebooks.com/products/reading-epub/product-id/2998977/title/Non-volatile%2BMemories.html?autr=%22Jean-Claude+Lacroix%22>

Nach Ergebnissen von [7] haben SRAM-Zellen einen relativ großen Platzverbrauch - geht man von einer identischen Größe der einzelnen Bauteile, also den Transistoren oder Kondensatoren, aus, so benötigt eine SRAM-Zelle gegenüber einer DRAM-Zelle etwa 20-mal so viel Fläche. Hier wird die Fläche F^2 bei gleicher Größe der einzelnen Bestandteile mit etwa $140F^2$ für SRAM angegeben, während sie bei DRAM bei nur $6-8F^2$ liegt; bei einem in SSDs verwendeten Flash-Modul sogar nur bei $1-4F^2$ und bei HDDs $2-3F^2$. Dies macht deutlich, warum SRAM-Module nicht die Kapazität anderer Technologien erreichen, zumal sie meist in Prozessoren integriert sind und somit einer noch stärkeren Beschränkung des verfügbaren Platzes unterliegen. Der Energieverbrauch beim Schreiben eines Bits in den jeweiligen Zellen erscheint zunächst gering, da aber jeweils Tausende, wenn nicht sogar Milliarden dieser Zellen parallel arbeiten und dabei viele Tausend Schreibzyklen pro Sekunde durchgeführt werden, summiert sich dieser Verbrauch schnell auf signifikante Werte [8]. Aus diesem Grund ist es notwendig, überflüssige Zugriffe weitestgehend zu vermeiden und benötigte Datenblöcke bestenfalls in einer einzigen Zeile abzuspeichern. Andernfalls muss die gesamte Zeile gelesen und zurückgeschrieben werden, was einem überflüssigen Energieverbrauch gleicht. Der wichtigste Aspekt von SRAM-Modulen, die hohe Lese- und Schreibgeschwindigkeit, wird besonders im Vergleich zu anderen Technologien klar. Die Zeit, die zum Lesen oder Schreiben eines Datenbits benötigt wird, beträgt bei SRAM-Speichern lediglich 0,1-0,3 Nanosekunden. Mit einigem Abstand folgt hier DRAM mit etwa 6ns, danach aber bleibt eine große Lücke, denn eine Flash-Zelle braucht für dieselbe Operation schon etwa 100.000ns, eine HDD 500.000 bis 800.000 Nanosekunden. Für eine SRAM-Zelle ergibt sich damit rechnerisch bis zu knapp einer Milliarde aufeinanderfolgende Schreibzyklen pro Sekunde, was in Anbetracht der CPU-Taktraten von einigen Gigahertz notwendig ist. Da SRAM und DRAM zwei flüchtige Speichertechnologien sind, erhalten sie ihre gespeicherten Informationen ohne Versorgungsspannung nur für sehr geringe Zeit. Diese ist bei SRAM vernachlässigbar kurz, bei DRAM-Speichern kann teilweise aber noch nach einer Sekunde eine Information mit speziellen Geräten wiederhergestellt werden. Im Vergleich zu SSDs und HDDs, welche beide nichtflüchtige Speicher sind, ist das aber nur ein Bruchteil der Zeit. Diese können die Daten über einen Zeitraum von einigen Jahrzehnten erhalten. Zusätzlich zu einer hohen Geschwindigkeit des Speichers ist es auch noch

von großer Bedeutung, wie langlebig die Zellen sind, da nicht jeder Speicher wie bei nicht verlötetem Arbeitsspeicher einfach ausgewechselt werden kann. So können SRAM- und DRAM-Zellen über 10^{16} Zyklen durchleben, bevor sie nicht mehr konsistent arbeiten. Dieser Wert ist zwar im Vergleich zu durchschnittlich 10^5 Zyklen bei einer SSD und 10^4 Zyklen bei einer HDD sehr hoch, jedoch werden Festplatten deutlich seltener und nicht wie ein Cache tausende Male pro Sekunde beschrieben. Dennoch lässt sich sagen, dass alle vier auf dem Markt verfügbaren Technologien eine für ihren Einsatzzweck ausreichende Lebensdauer besitzen, da nach Ablauf dieser Zeit die technische Entwicklung schon weit bessere und schnellere Modelle herausgebracht hat, sodass sich ein Wechsel immer lohnt.

5 Zusammenfassung

Static Random Access Memory **SRAM** und Dynamic Random Access Memory **DRAM** sind wichtige Bausteine eines Computersystems. Sie weisen eine, ausgenommen auf Zellebene, ähnliche Struktur auf und lassen sich beide als flüchtige Halbleiterspeicher einordnen. Sie erlauben wahlfreien Zugriff auf die gespeicherten Informationen und bieten dabei eine symmetrische Zugriffszeit für Lese- und Schreiboperationen. Der Preis pro Bit ist bei beiden Speicherarten deutlich höher als der jeder momentan erhältlichen Hauptspeicher. Durch diese Eigenschaften und die verglichen mit anderen Speichern sehr hohe Geschwindigkeit eignen sie sich hervorragend als Pufferspeicher in Prozessoren (SRAM), sowie als Arbeitsspeicher (DRAM) auf einem Mainboard. Dabei bilden sie Bindeglieder zwischen Prozessor und Hauptspeicher, um einen ungebremsten Betrieb zu ermöglichen. Die Nachteile dieser Technologien werden durch den technischen Fortschritt immer weiter minimiert, jedoch befinden sich auch vollkommen neue und vielversprechende Ansätze in Entwicklung, die unter anderem nichtflüchtig und somit deutlich universeller sind.

Abbildungsverzeichnis

1	Einordnung verschiedener Speichertechnologien	3
2	Aufbau einer DRAM-Zelle	4
3	Gitterstruktur eines DRAM-Moduls	5
4	Aufbau einer SRAM-Zelle	7
5	Level-Architektur von SRAM-Cache	8
6	Vergleich verschiedener Speicherarten	9

Literatur

- [1] D. B. Strukov *et al.*, *The missing memristor found*. 2008. <https://www.nature.com/articles/nature06932>.
- [2] Smithsonian Institution, *DRAM Technology*. 1997. <http://smithsonianchips.si.edu/ice/cd/MEMORY97/SEC07.PDF>.
- [3] A. Schönberger, *Abschätzung der Leistungssteigerung durch 3D-DRAM und Evaluation einer lokalitätsbasierten Architektur*. 2016. <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5551/>.
- [4] electronics notes, "What is sdram memory." https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/semiconductor-ic-memory/sdram-synchronous-dram-what-is.php Zugriff am 27.11.2018.
- [5] J. Singh *et al.*, *Robust SRAM Designs and Analysis*. 2013. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4614-0818-5>.
- [6] K. Ishibashi and K. Osada, *Low Power and Reliable SRAM Memory Cell and Array Design*. 2011. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-642-19568-6>.
- [7] P. C. Lacaze and J.-C. Lacroix, *Non-volatile Memories*. 2014. <https://www.book-ebooks.com/products/reading-epub/product-id/2998977/title/Non-volatile%2BMemories.html?autr=%22Jean-Claude+Lacroix%22>.
- [8] S. Mittal, *A Survey of Architectural Techniques for DRAM Power Management*. 2012. https://www.academia.edu/2475806/A_survey_of_architectural_techniques_for_DRAM_power_management.