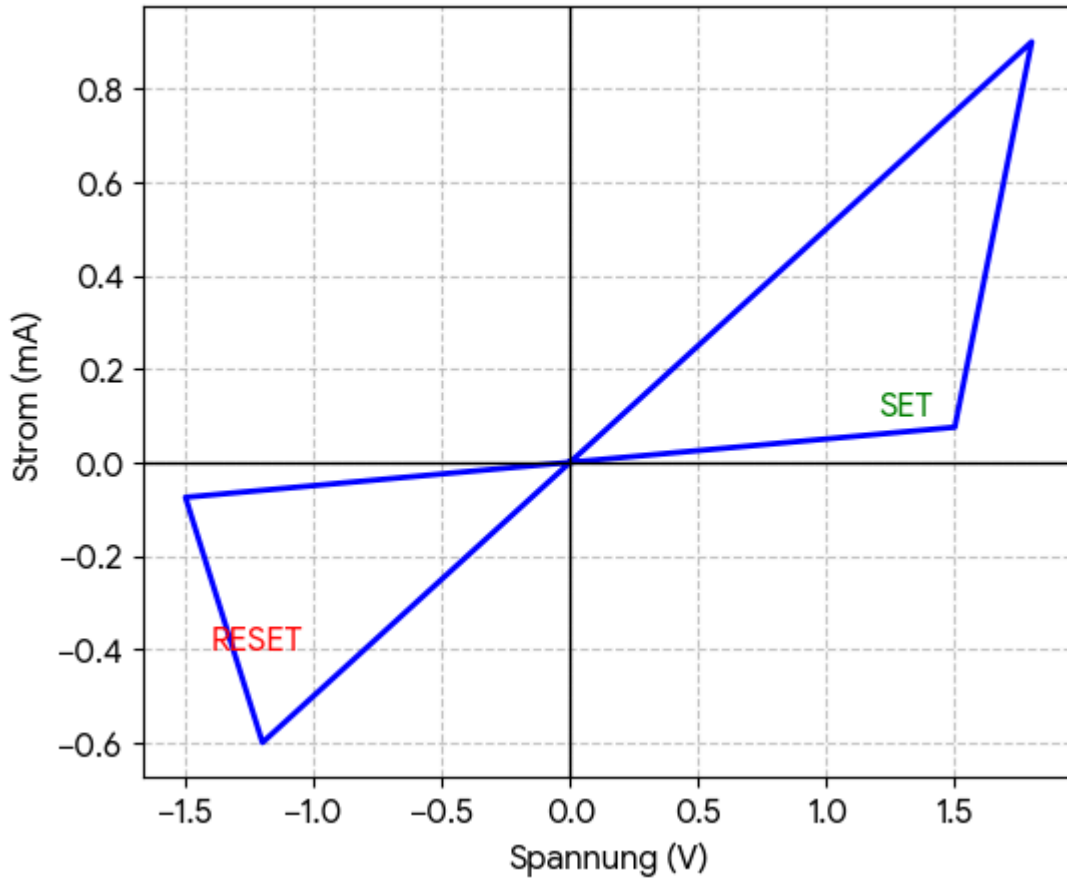
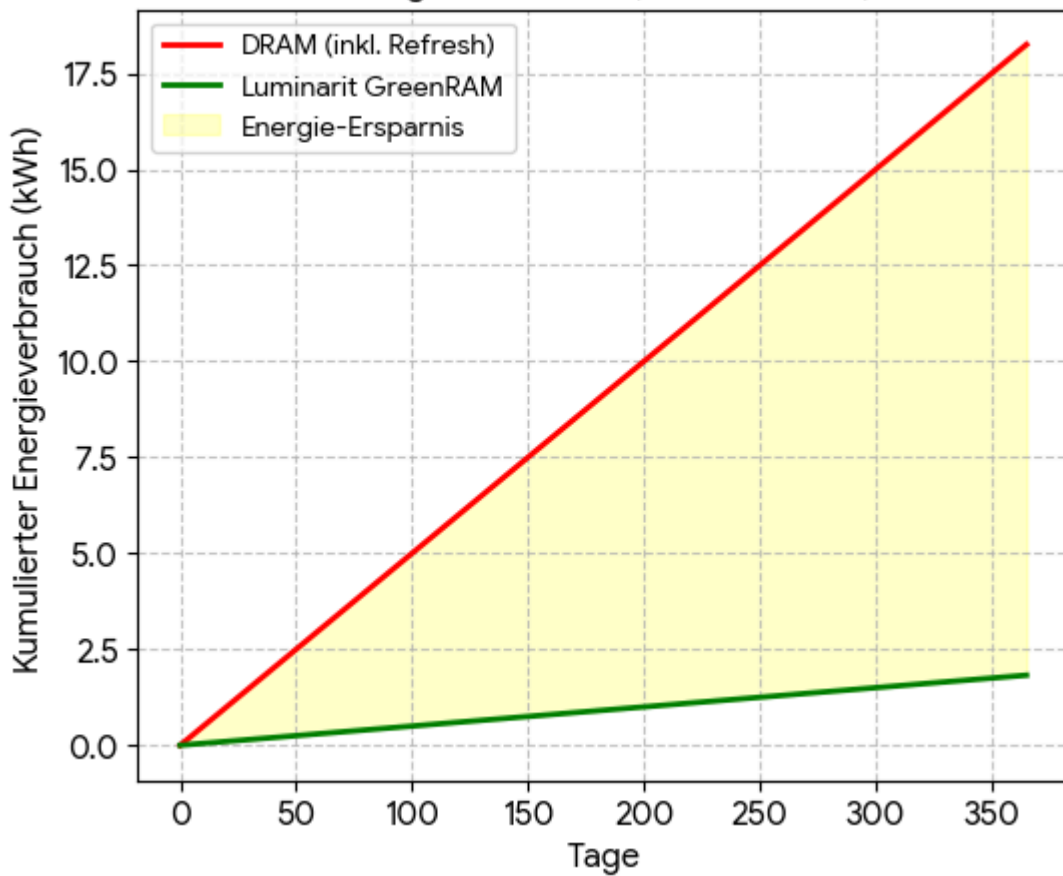


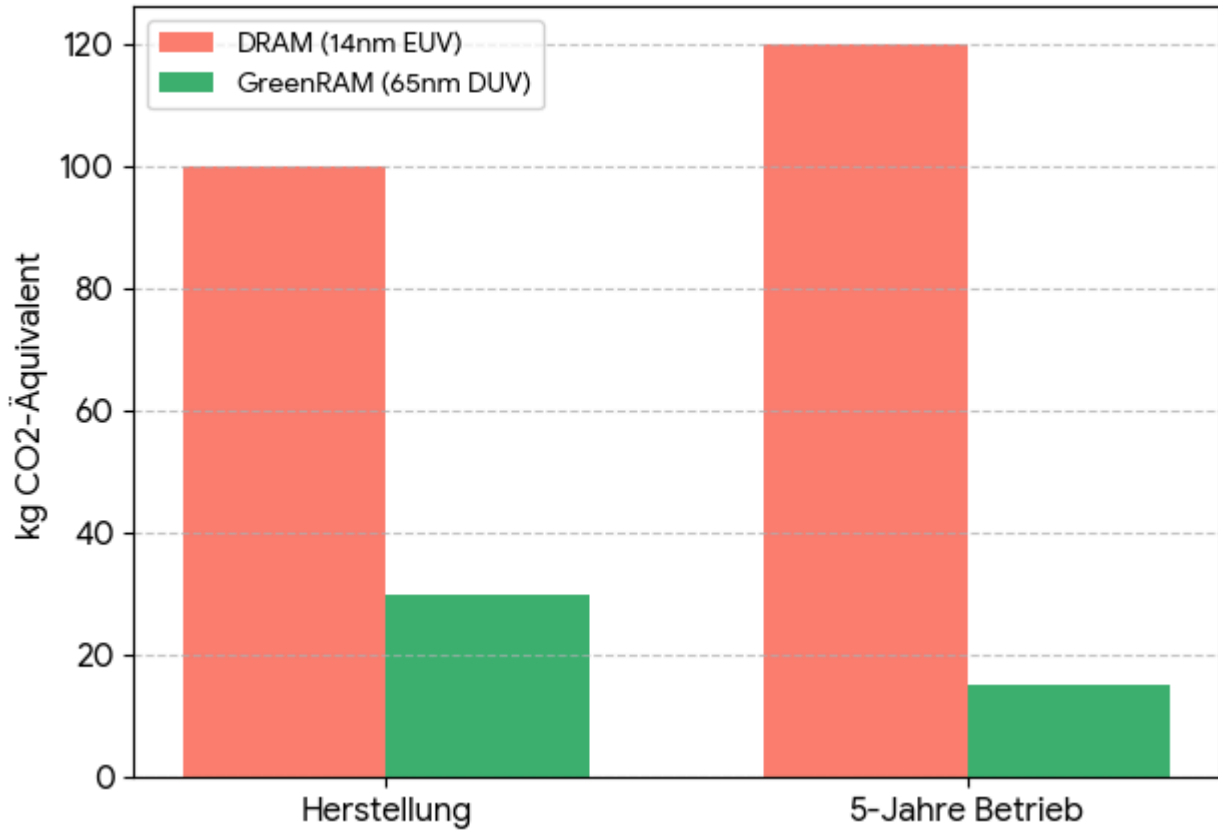
I-V Kennlinie (Luminarit-GreenRAM V2.1)



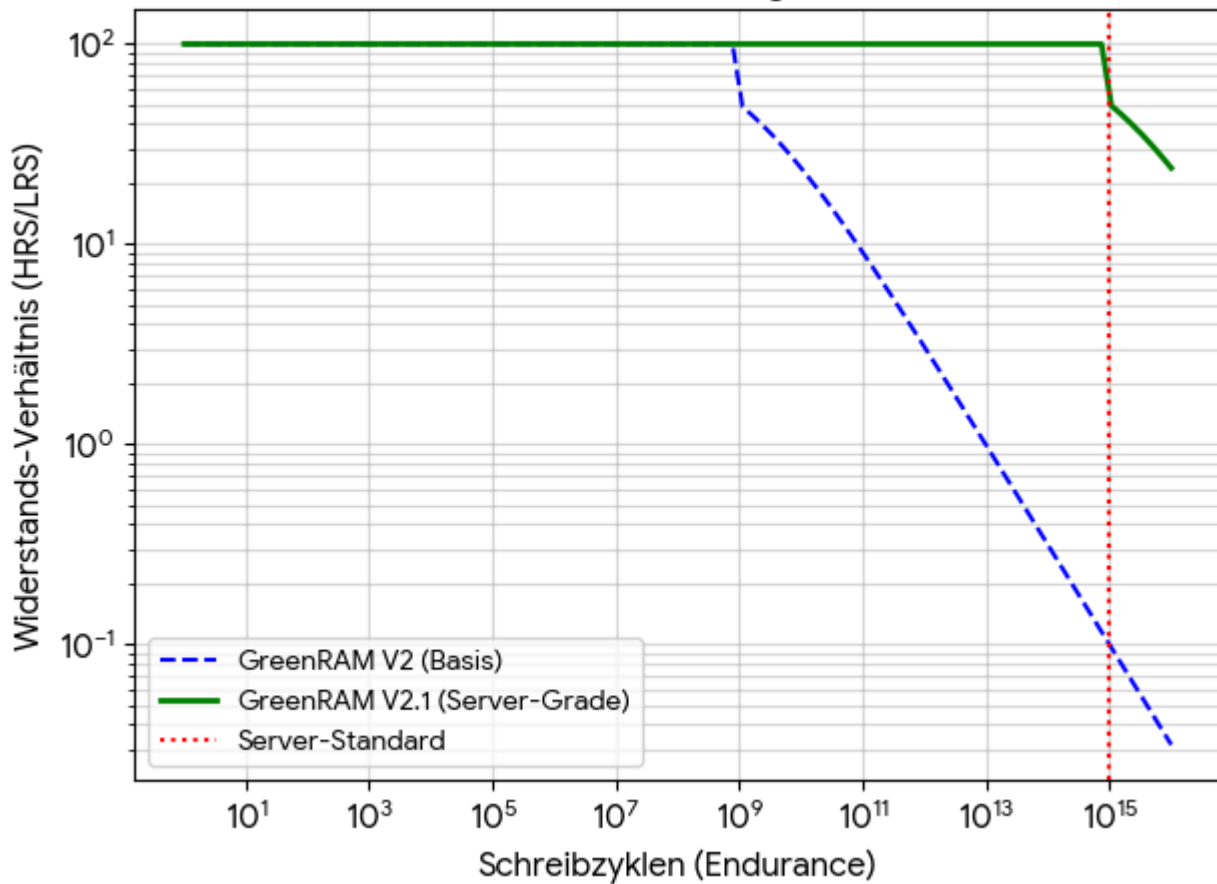
Energieverbrauch (1 Jahr Betrieb)



### CO2-Lebenszyklus-Modell



### Endurance-Modell & Langzeitstabilität



# Erweiterungsprotokoll: Luminarit-GreenRAM V2.1 (Server-Grade)

## 1. Spezifikation: Interfacial Quantum-Stabilizer (IQS) & ALC

Dieses Modul hebt den Luminarit-GreenRAM auf ein industrielles Server-Niveau, um die Anforderungen von Rechenzentren an Ausfallsicherheit und Dauerlast zu erfüllen.

### 1.1 Physische Struktur: hBN-Graphen-Superlattice

Zur Erreichung einer Endurance von  $10^{15}$  Zyklen wird die Anode als atomares Superlattice (Übergitter) ausgeführt.

- **Materialien:** Alternierende Lagen von Graphen (Leiter) und hexagonalem Bornitrid (hBN, atomarer Isolator/Sieb).
- **Funktion:** Die Sauerstoff-Vakanzen (Ionen) werden während des Schaltvorgangs kontrolliert in den Zwischenräumen des hBN-Gitters „geparkt“. Dies verhindert die strukturelle Zersetzung der  $HfO_2$  : N-Schaltschicht.
- **Thermik:** hBN bietet eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 400 W/mK, was Hotspots am Filament eliminiert.

### 1.2 Steuerung: Inductive Resonance Feedback (IRF)

Integration der Quanten-Schnittstelle zur Echtzeit-Überwachung.

- **Mechanismus:** Messung der Impedanzänderung mittels induktiver Resonanz.
- **Puls-Formung:** Der Impuls wird im Pikosekunden-Bereich angepasst, sobald der Ziel-Leitwert erreicht ist.
  - Set-Puls:  $V(t) = V_0 \cdot e^{-t/\tau}$
  - Reset-Puls:  $V(t) = V_{max} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$

## 2. Fertigungs-Parameter (65-90 nm DUV)

Der Prozess ist vollständig CMOS-kompatibel und nutzt bestehende Infrastrukturen:

1. **Backend-of-Line (BEOL):** Sequenzielle ALD/CVD-Abscheidung des Superlattice (1-2 nm).
2. **Thermal Casing:** Anbindung an vertikale Boron Nitride Nanotubes zur lateralen Wärmeabfuhr.

### 3. Leistungsdaten-Matrix

Parameter	GreenRAM V2 (Basis)	GreenRAM V2.1 (Server)	Benchmark (DDR5)
Endurance	$\geq 10^9$ Zyklen	$\geq 10^{15}$ <b>Zyklen</b>	Praktisch unbegrenzt
Latenz (Read)	< 10 ns	< <b>5 ns</b>	10-15 ns
Retention	10 Jahre	> <b>20 Jahre</b>	0 s (Volatilität)
Energie (Idle)	0 W	<b>0 W</b>	Hoch (Refresh nötig)
Seltene Erden	0%	<b>0%</b>	Teilweise vorhanden

### 4. Logische Verifikation

Die Konsistenz ist durch die Nutzung materialgleicher Strukturen (hBN) für die Zellanode und das Thermal Casing gewährt. Die Skalierung der Lebensdauer wird nicht durch Materialschlacht, sondern durch präzise Impulssteuerung (IRF) erreicht.