17.10.2023 - WS23/24

Lehr- und Forschungseinheit für Kommunikationssysteme und Systemprogrammierung

Blockpraktikum Quantencomputing

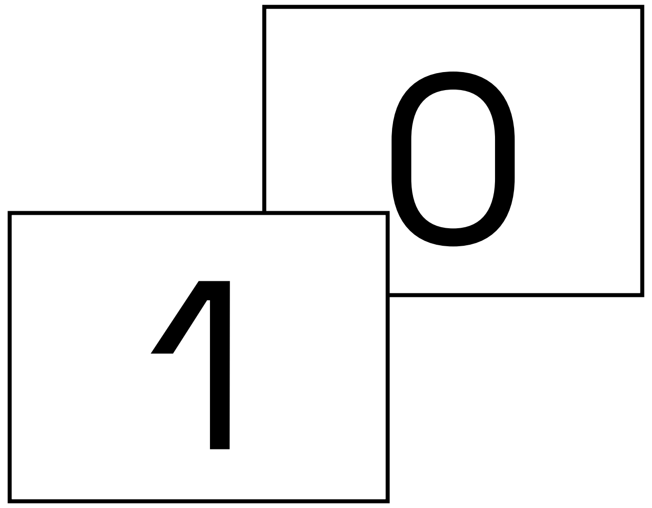
Christian Bernhard | Mohamad Hgog

Motivation

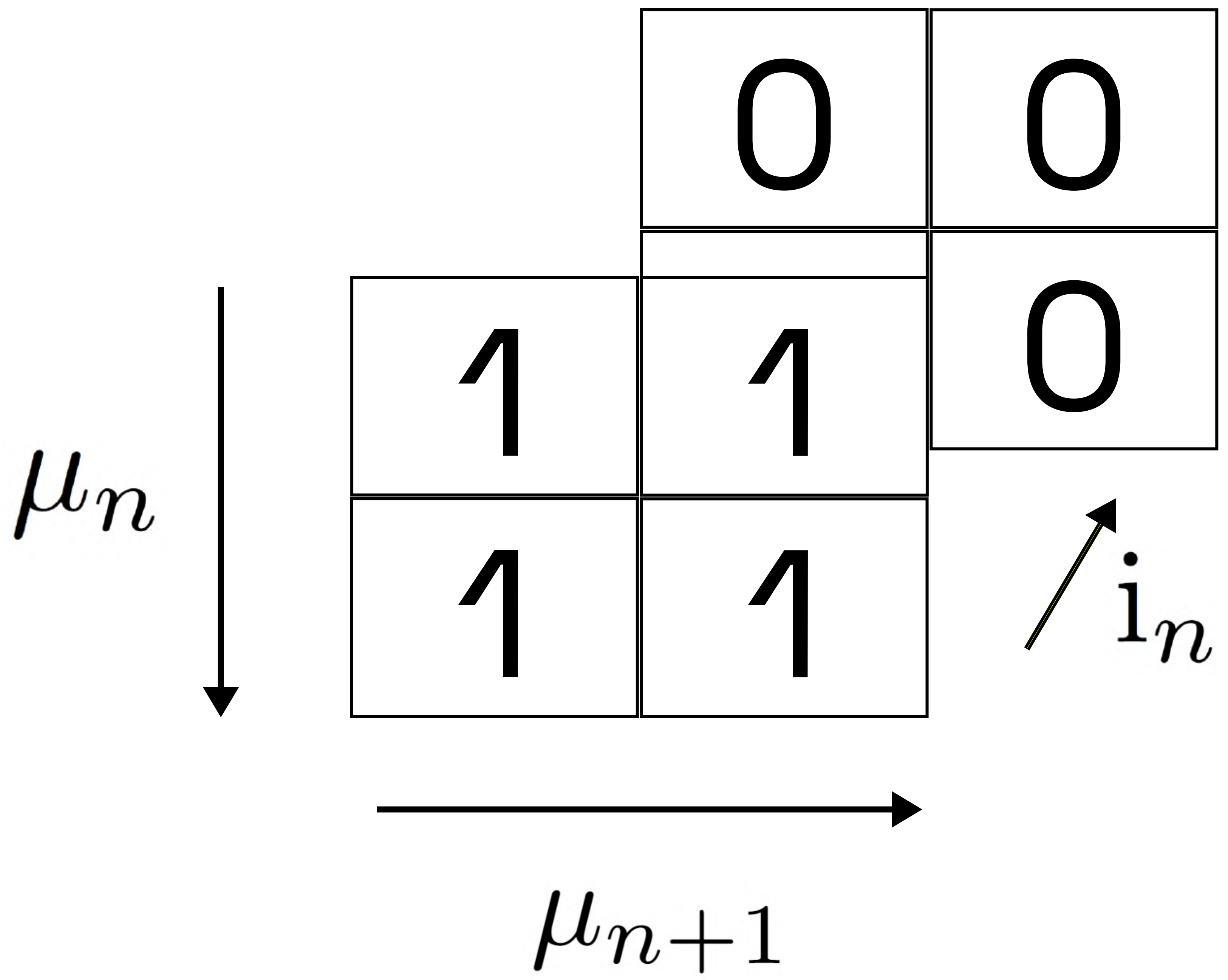
Motivation: Matrix Product State (MPS)

Qubit: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$



Motivation: MPS



Statevektor

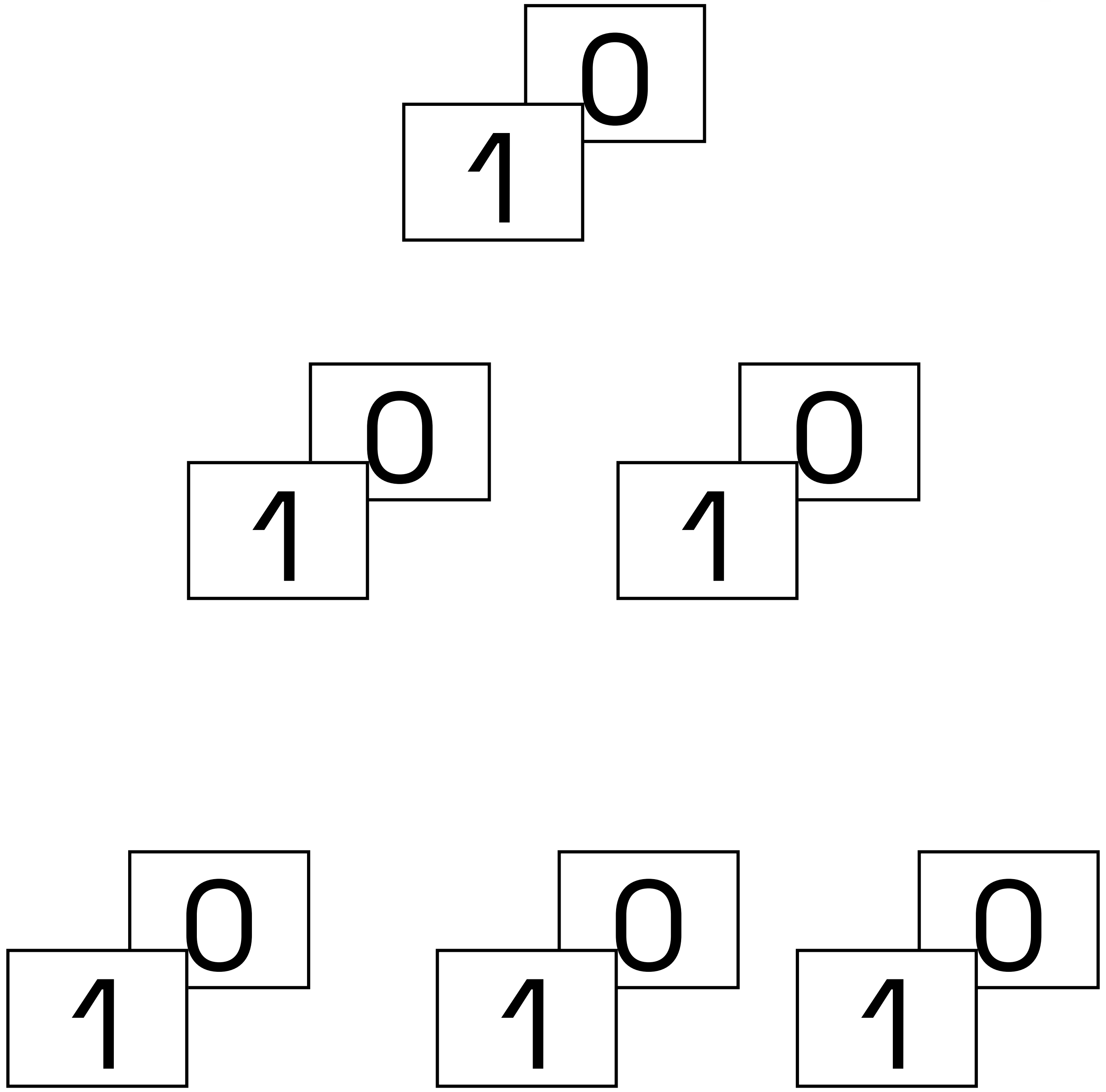
$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|00\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|000\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

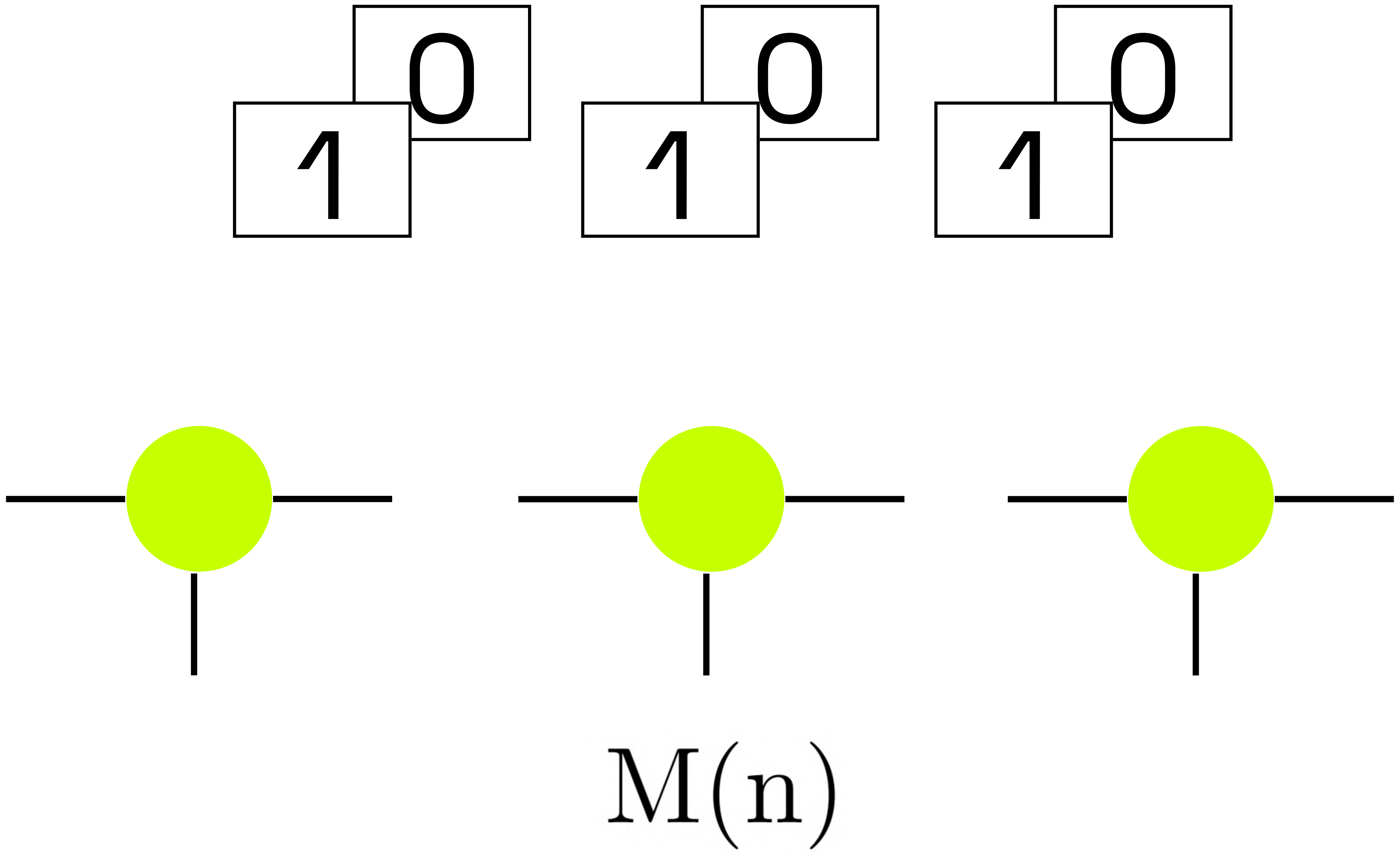
$$\downarrow 2^N$$

MPS

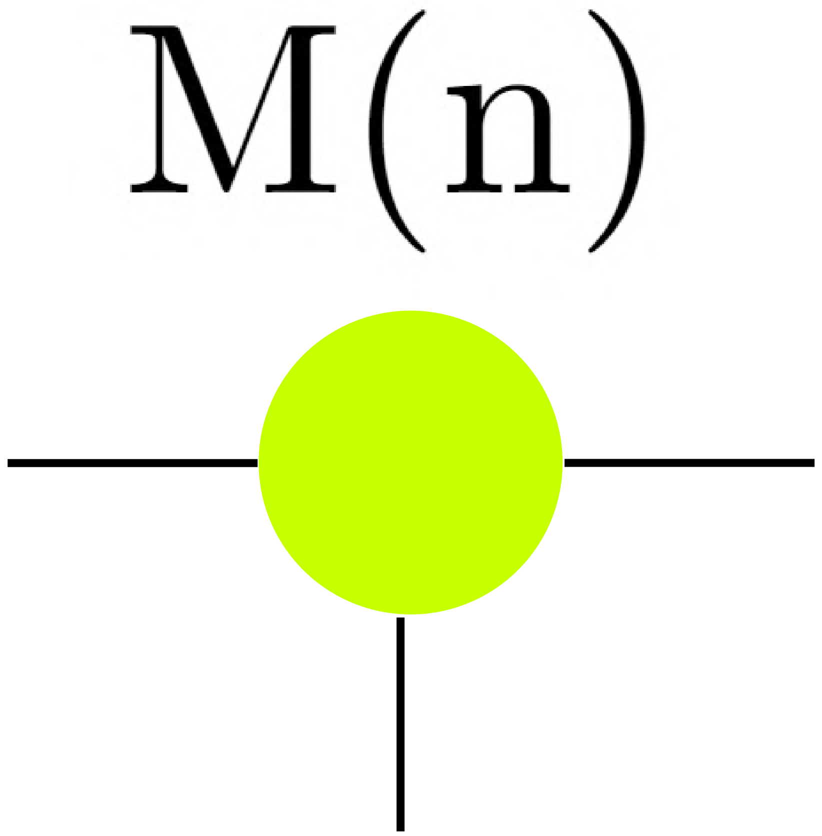


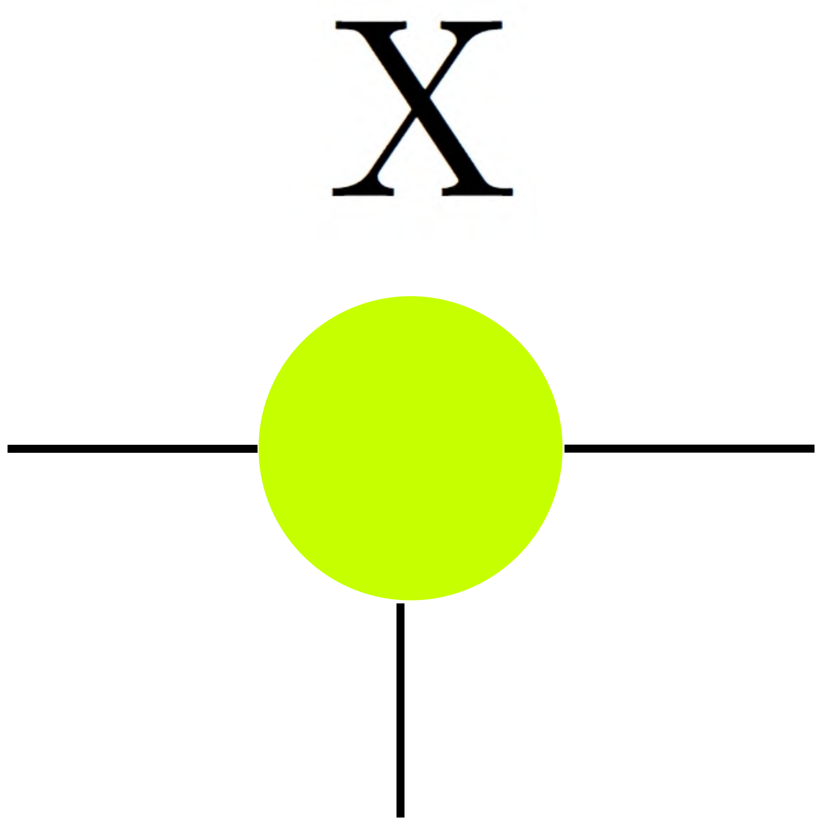
$$\downarrow 2\mathrm{N}$$

Operationen: 1 Qubit

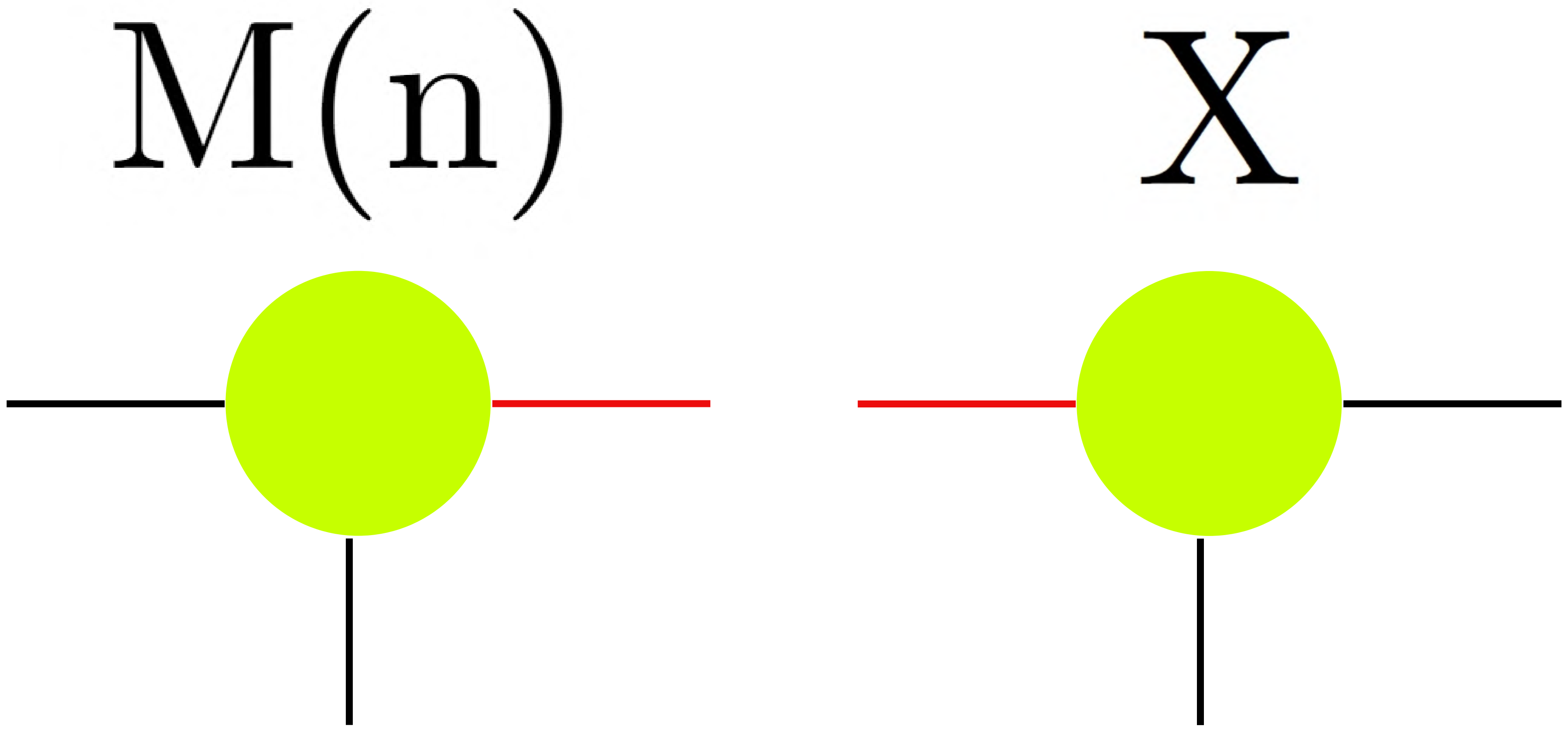


Operationen: 1 Qubit

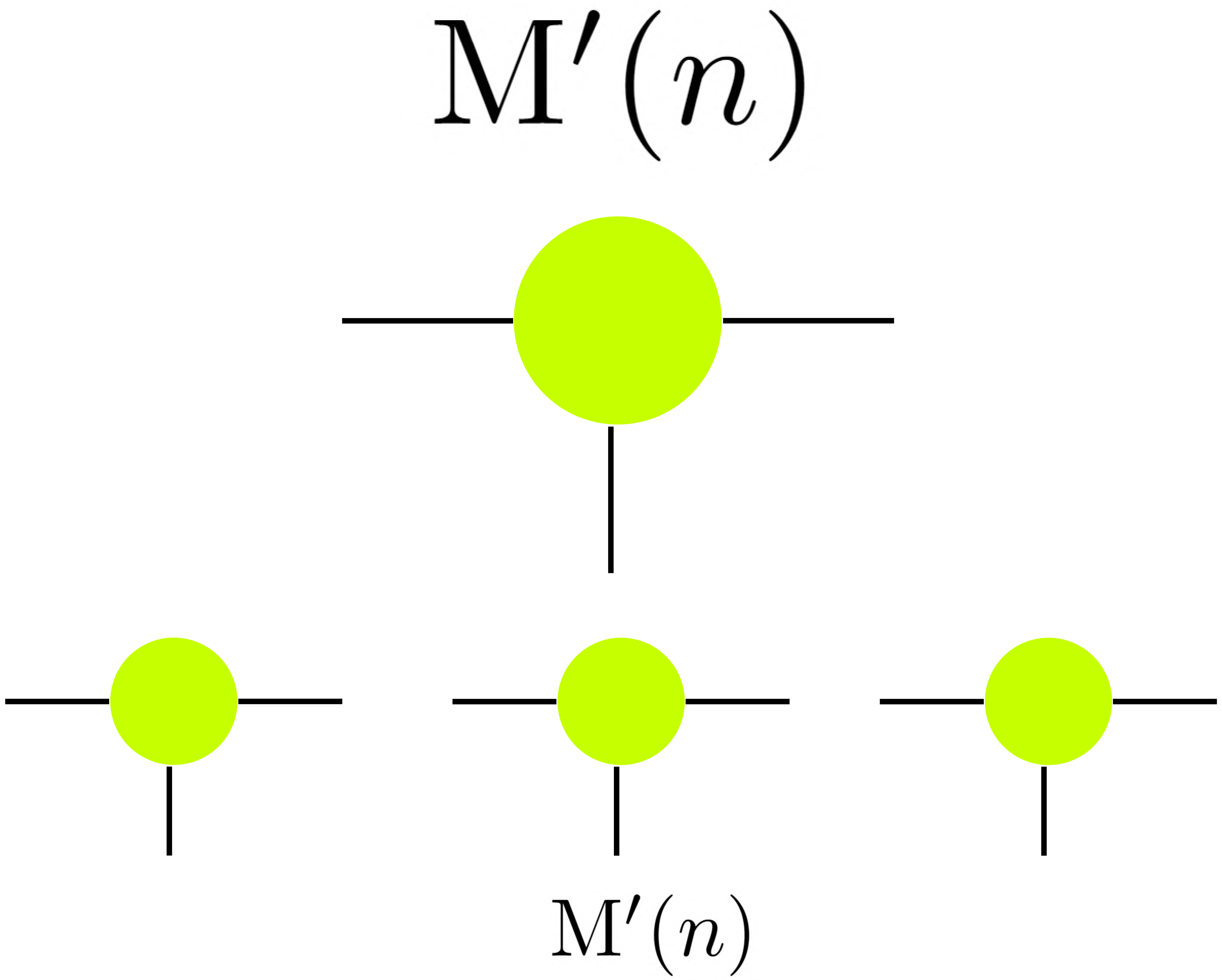




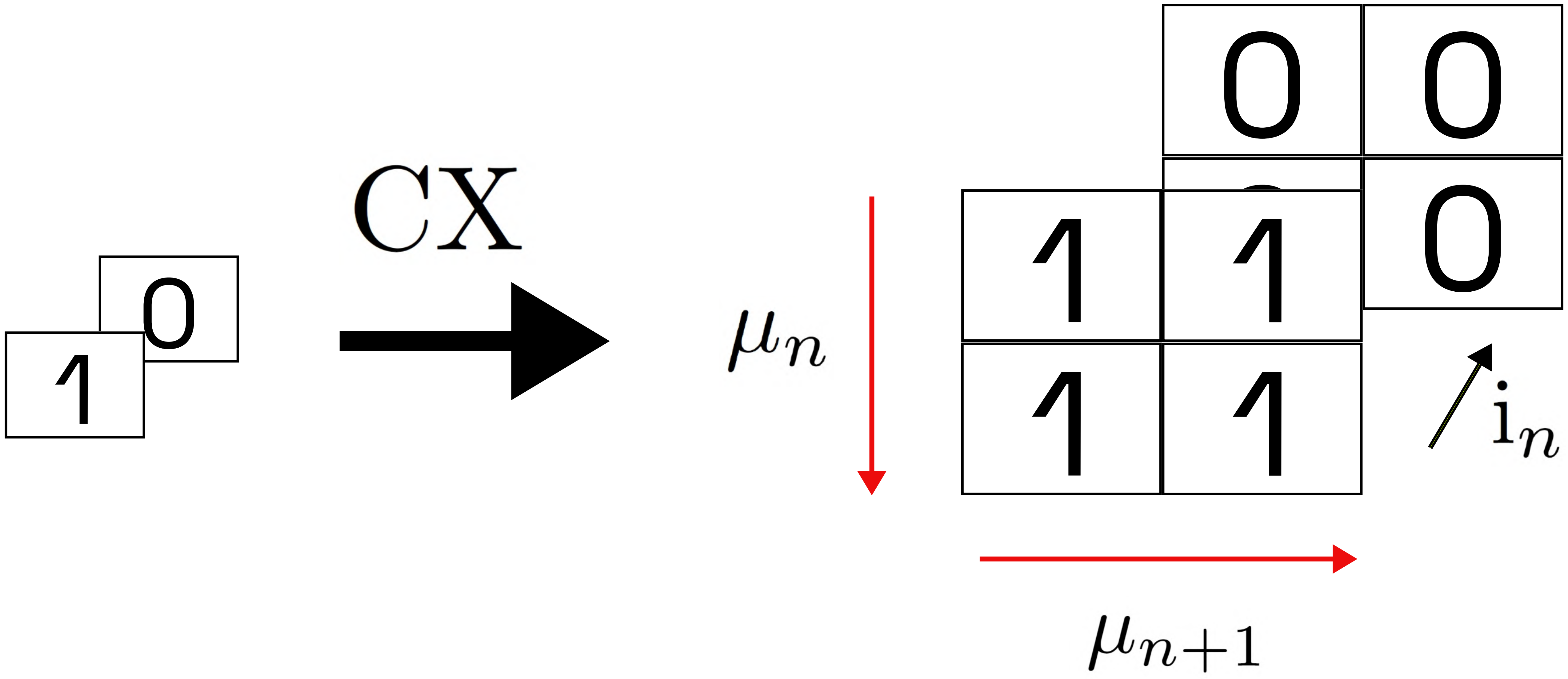
Operationen: 1 Qubit



Operationen: 1 Qubit



Operationen: 2 Qubit



Optimierung

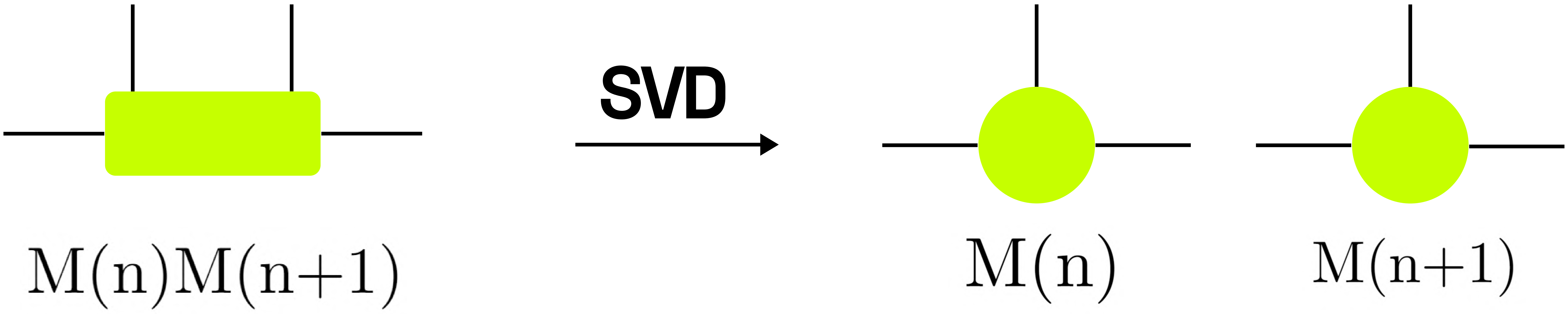
SVD Truncation

Circuit Optimization

2-Qubit Gate Optimization

Optimierung: Singularwertzerlegung (SVD)

- MPS hat max. 3 Dimensionen
- 2-Qubit Operationen → 4D Tensor
- Anwendung der SVD auf den 4D Tensor
- Erhalt der MPS Form aus den zwei 3D Tensoren



Try Pitch

Optimierung: Truncation

- Methode zur Reduktion der Komplexität von Datenmatrizen
- Verwerfung "unbedeutender" Singularwerte
- Begrenzung des Anstiegs von Dimensionen durch Verschränkung

Keine Truncation

✔ Exakte Berechnungen

✘ Dimensionen steigen schneller durch Verschränkung

✘ höhere Rechen- und Speicheranforderungen

Leichte Truncation

✔ Geringer Fehler, akzeptable Abweichungen

✔ Effizienteres Wachstum

✔ Ausgewogene Balance zwischen Genauigkeit und Effizienz

Starke Truncation

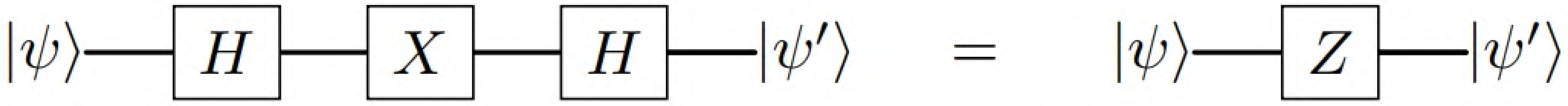
? Erhöhte Fehlerrate

✔ Signifikante Reduzierung, maximale Effizienzsteigerung

? Höhere Effizienz gegenüber Genauigkeitsverlust

Optimierung: Circuit Optimization

- Gates können substituiert werden
- Gates können zusammengefasst werden
- Gates Anzahl kann reduziert werden
- Und vieles mehr…



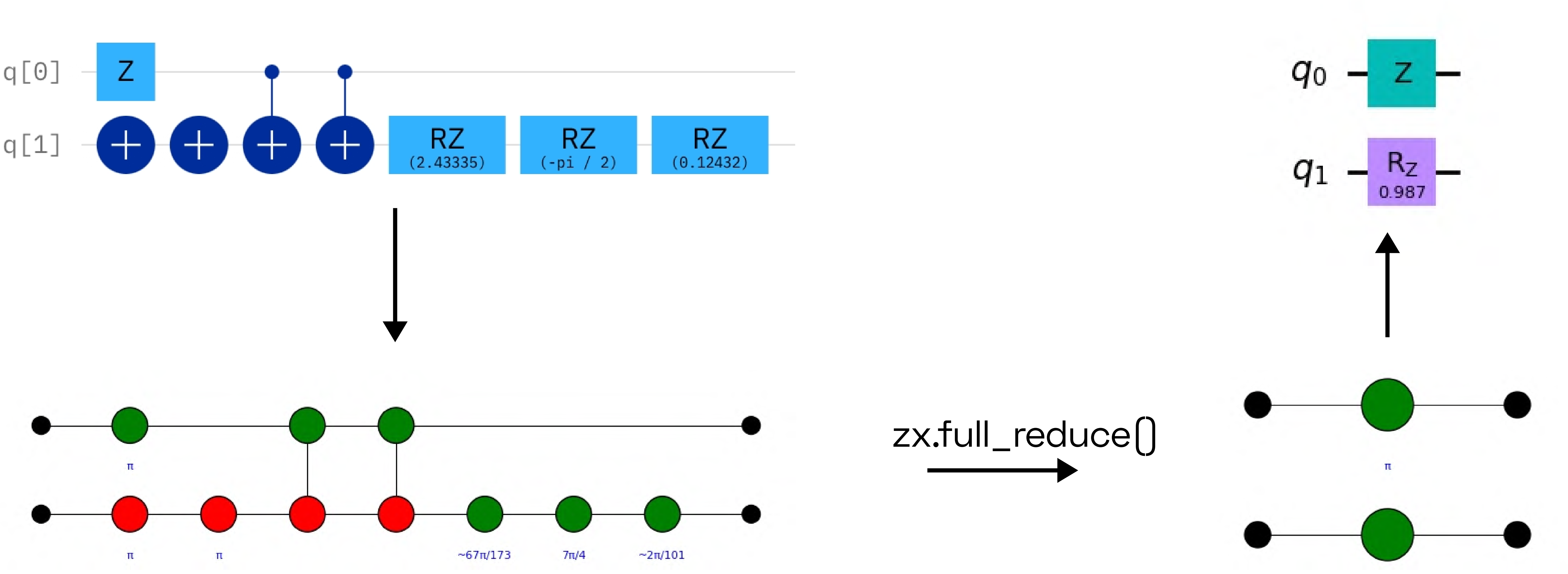
Optimierung: Circuit Optimization

- Gates können substituiert werden
- Gates können zusammengefasst werden
- Gates Anzahl kann reduziert werden
- Und vieles mehr…

```
2664132    rz -pi 13
2664133    rz -pi/2 13
```

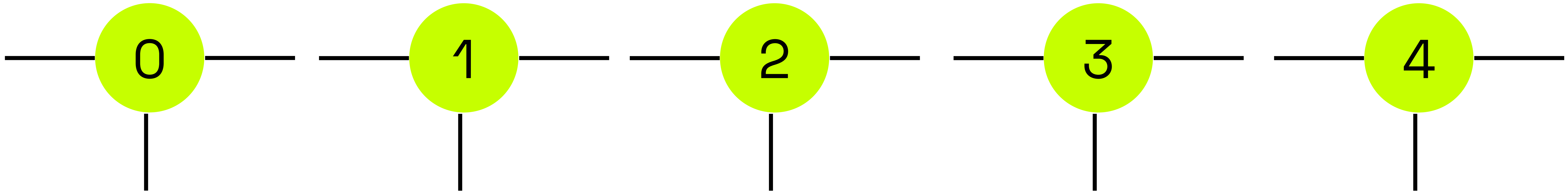
Optimierung: PyZX

- Ein Python-Tool, das die Theorie des ZX-Kalküls implementiert
- Erlaubt die Manipulation und Analyse von ZX-Diagrammen



Optimierung: 2 Qubit Gate Naiv

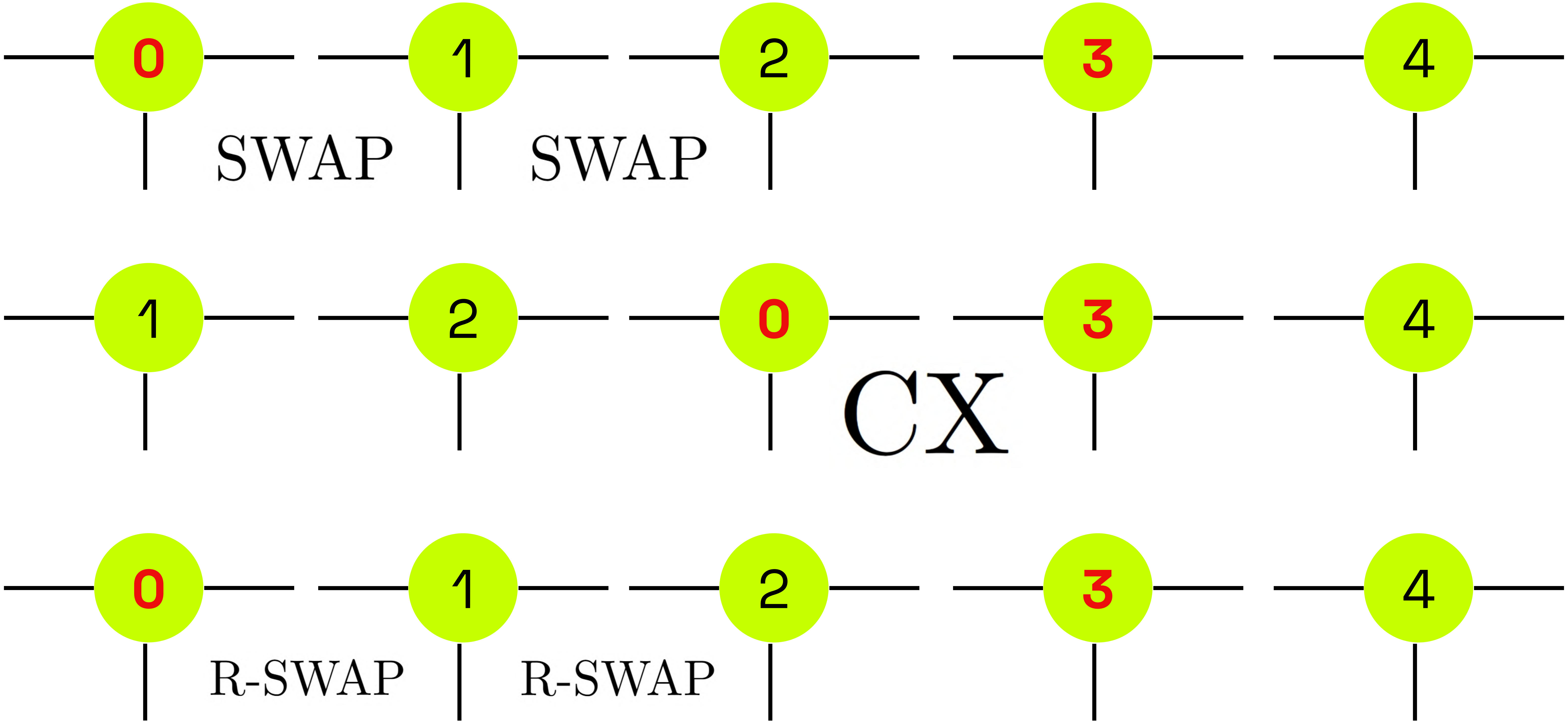
CX 0 3
CX 0 4



Try Pitch

Optimierung: 2 Qubit Gate Naiv

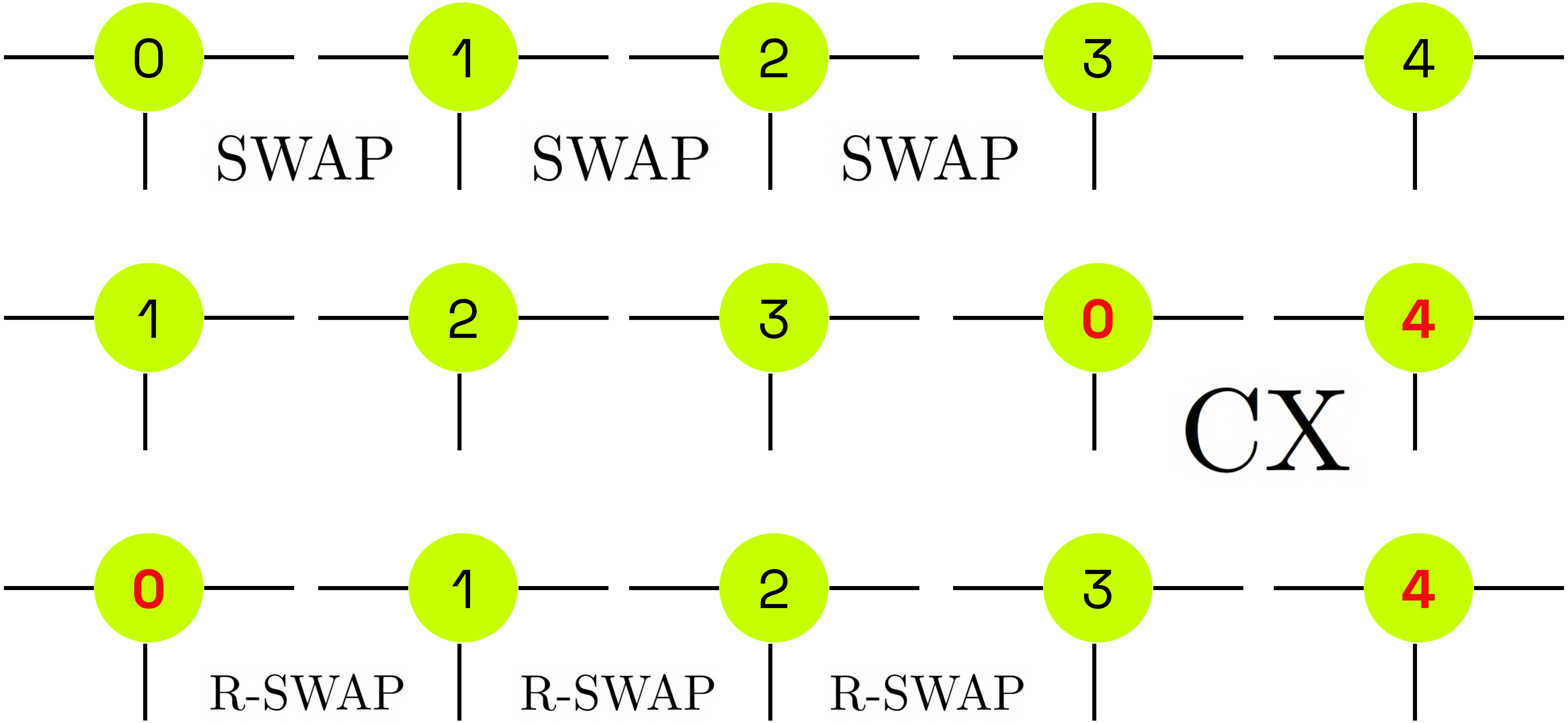
CX 0 3
CX 0 4



Try Pitch

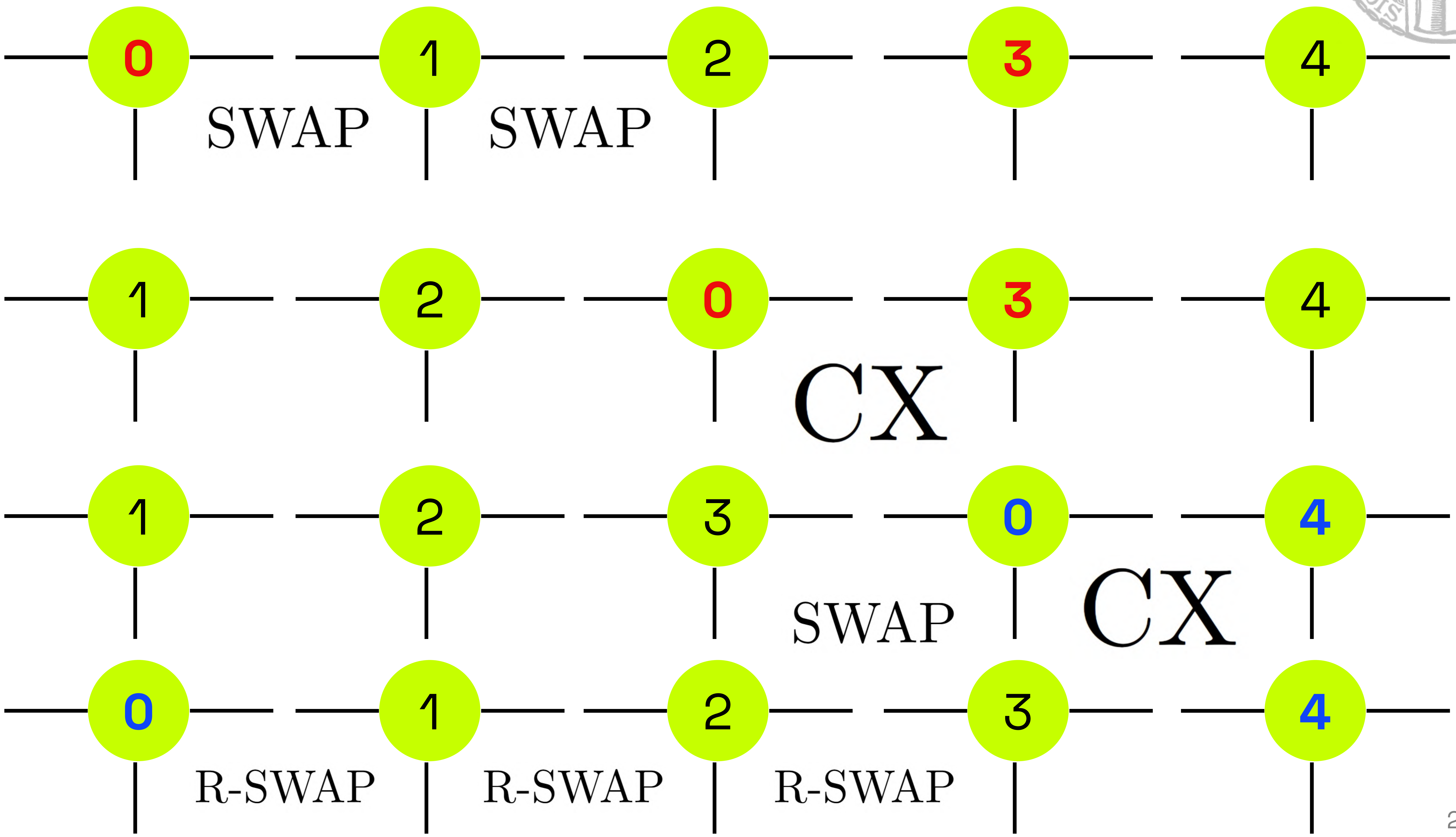
Optimierung: 2 Qubit Gate Naiv

CX 0 3
CX 0 4



Optimierung: 2 Qubit Gate Optimiert

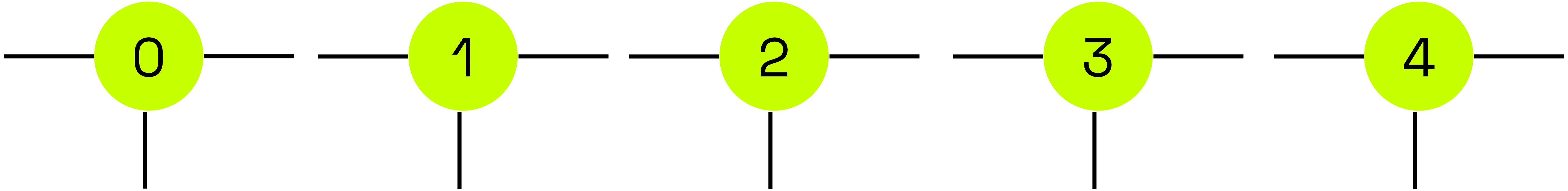
CX 0 3
CX 0 4



Try Pitch

Optimierung: 2 Qubit Gate Optimiert

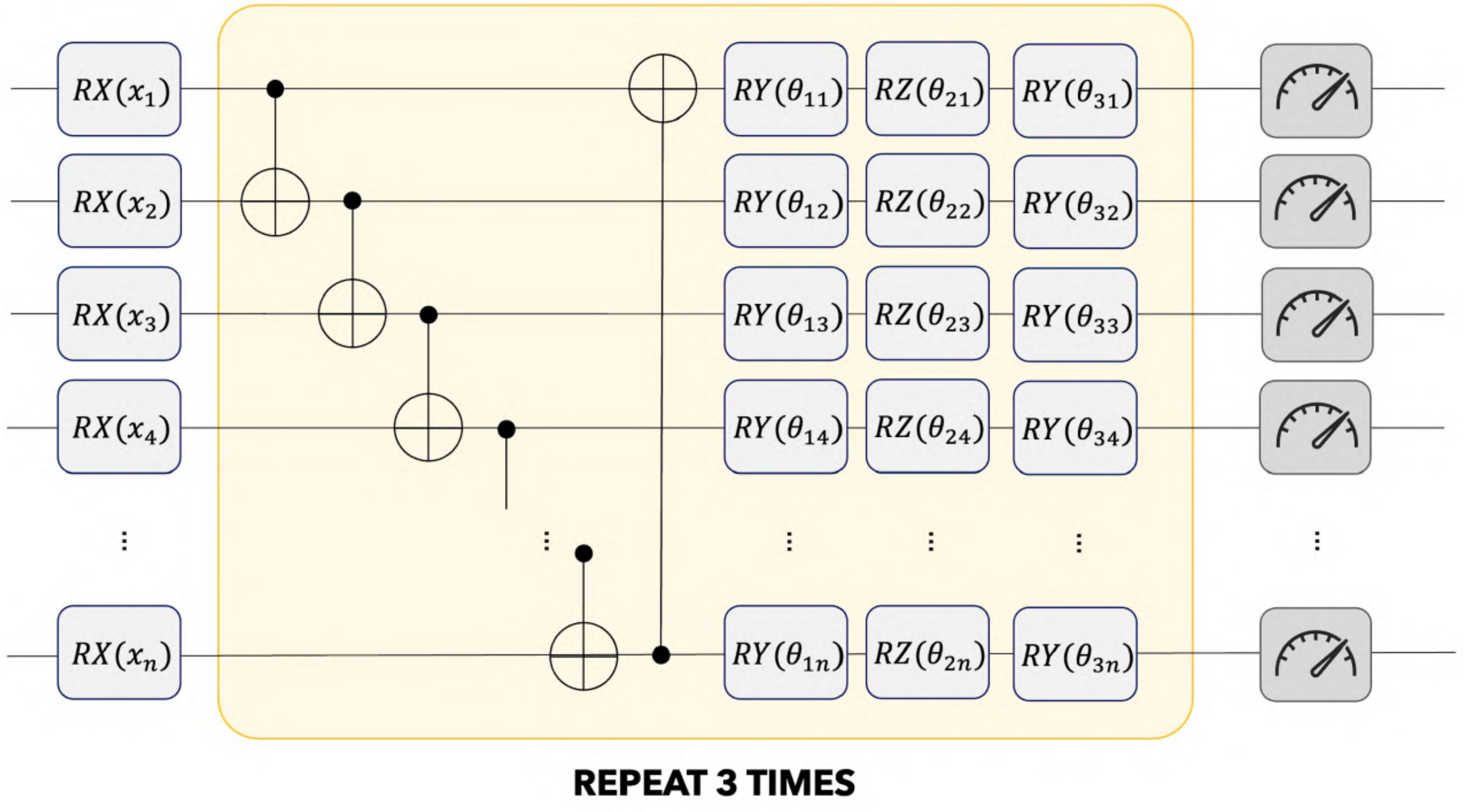
CX 0 3
CZ 0 4
CX 3 0
...

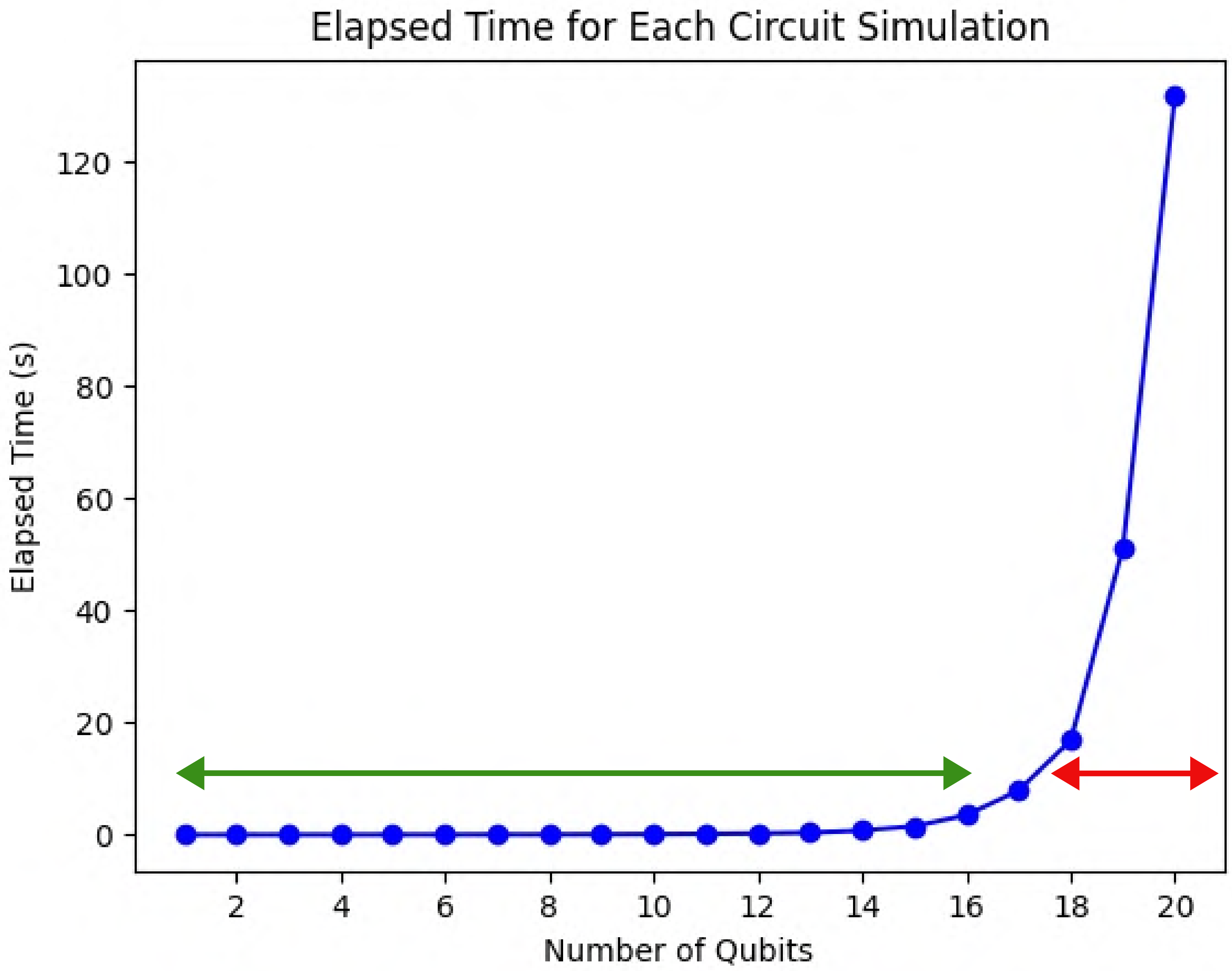


Try Pitch

Benchmark

- Wie gut funktioniert der MPS Simulator?





- Real-world QML Schatkreis
- Input-layer, 3 Variational-layers
- Getestet auf 1 - 20 Qubits

Vielen Dank!

Fragen?

Backup: SVD und Truncation

$$M = \begin{pmatrix} 0.435839 & 0.223707 & 0.10 \\ 0.435839 & 0.223707 & -0.10 \\ 0.223707 & 0.435839 & 0.10 \\ 0.223707 & 0.435839 & -0.10 \end{pmatrix}$$

M kann faktorisiert werden als:

U

$$\begin{bmatrix} 1/2 & -1/2 & 1/2 \\ 1/2 & -1/2 & -1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & -1/2 \end{bmatrix}$$

S

$$\begin{bmatrix} 0.933 & 0 & 0 \\ 0 & \boxed{0.300} & 0 \\ 0 & 0 & \boxed{0.200} \end{bmatrix}$$

V

$$\begin{bmatrix} 0.707107 & 0.707107 & 0 \\ -0.707107 & 0.707107 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$||M_3 - M||^2 = 0.13 = \boxed{(0.3)^2} + \boxed{(0.2)^2}$$

Try Pitch

Backup: SVD und Truncation

Durch Truncation → weniger Einträgre:

U

$$\begin{bmatrix} 1/2 \\ 1/2 \\ 1/2 \\ 1/2 \end{bmatrix}$$

S

$$\begin{bmatrix} 0.933 \end{bmatrix}$$

V

$$\begin{bmatrix} 0.707107 & 0.707107 & 0 \end{bmatrix}$$

$$||M_3 - M||^2 = 0.13 = (0.3)^2 + (0.2)^2$$

$$M_3 = \begin{pmatrix} 0.329773 & 0.329773 & 0 \\ 0.329773 & 0.329773 & 0 \\ 0.329773 & 0.329773 & 0 \\ 0.329773 & 0.329773 & 0 \end{pmatrix}$$