

# — vordenker-archive —

## Rudolf Kaehr

(1942-2016)

### Title

*Memristics \_power-point-presentation*

### Archive-Number / Categories

pdf-version of a power-point version

### Publication Date

2010/11

### Keywords

Memristics: On the technology of posthumanism ?

### Disciplines

Cybernetikcs, Computer Sciences

### Abstract

Vom Humanismus bis zum Post-humanismus opfert sich der Mensch den Versprechen der abendländischen Technologie in der Hoffnung auf eine post-religiöse Unsterblichkeit.

Der Transformation des Menschen durch den Menschen fehlen die adäquaten Techniken.

Zwischen Zen-Meditation und (Gehirn)Prothetik bewegt sich das Unterfangen selbstverblendet in sich selbst.

Die Memristik beansprucht in ihrer Intention nicht nur einen Paradigma-Wechsel, sondern einen Epochen-Wandel (Leon Chua)

### Citation Information / How to cite

**Rudolf Kaehr:** " Memristics \_power-point-presentation" [www.vordenker.de](http://www.vordenker.de) (Sommer Edition, 2017, J. Paul (Ed.) — [http://www.vordenker.de/rk/rk\\_Memristics\\_archive\\_2017.pdf](http://www.vordenker.de/rk/rk_Memristics_archive_2017.pdf)

### Categories of the RK-Archive

- |  |  |
|--|--|
| K01 Gotthard Günther Studies                     | K08 Formal Systems in Polycontextural Constellations |
| K02 Scientific Essays                            | K09 Morphogramatics                                  |
| K03 Polycontextuality – Second-Order-Cybernetics | K10 The Chinese Challenge or A Challenge for China   |
| K04 Diamond Theory                               | K11 Memristics Memristors Computation                |
| K05 Interactivity                                | K12 Cellular Automata                                |
| K06 Diamond Strategies                           | K13 RK and friends                                   |
| K07 Contextural Programming Paradigm             |  |

# Office for Memristics @ ThinkArt Lab Glasgow



# Memristik: Zur Technologie des Posthumanen?

- Vom Humanismus bis zum Post-humanismus opfert sich der Mensch den Versprechen der abendländischen Technologie in der Hoffnung auf eine post-religiöse Unsterblichkeit.
- Der transformation des Menschen durch den Menschen fehlen die adäquaten Techniken.
- Zwischen Zen-Meditation und (Gehirn-)Prothetik bewegt sich das Unterfangen selbstverblendet in sich selbst.
- Die Memristik beansprucht in ihrer Intention nicht nur einen Paradigma-Wechsel, sondern einen Epochen-Wandel (Leon Chua)

# Memristor-Intro

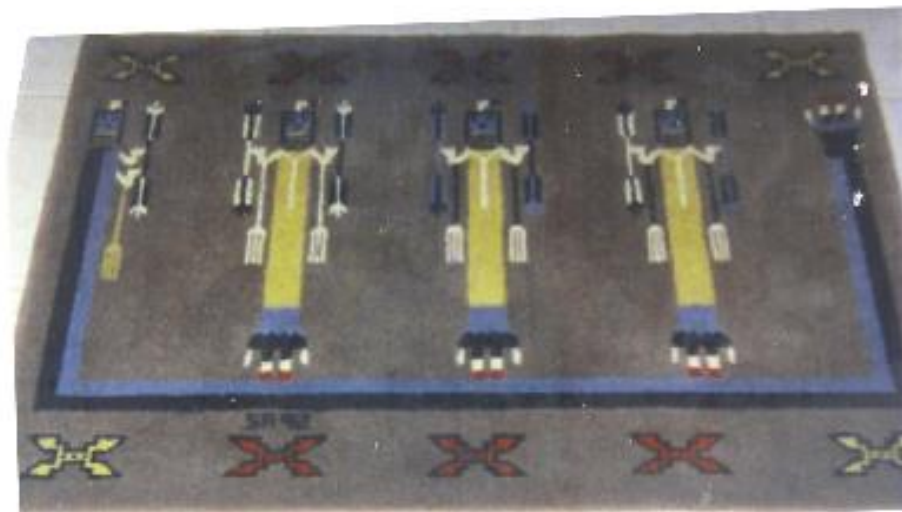
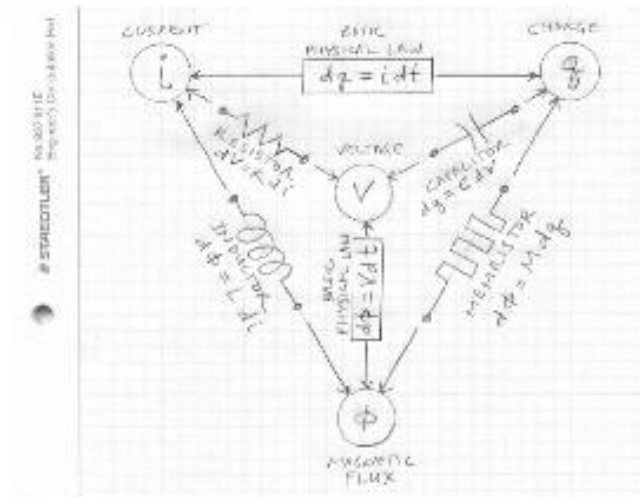
- <http://www.youtube.com/watch?v=rvA5r4LtVnc>
- Worum geht es beim Memristor?  
Technologisch? Paradigmatisch?
- Was ist Hype und was ist Realität?
- Wie könnte die Memristik grundlegend zu einer Umstrukturierung der Weltoffenheit des Denkens/ Erlebens und Handelns des Menschen führen?
- Ziel ist es, eine Technologie zu entwickeln, die in der Lage ist, die Befehle des Menschen post-human zu verwerfen (transAsimow).

# Memristics: Memristors, again?

*From Chinese aesthetics of the Fourth Element to DARPA's SyNAPSE*

Rudolf Kaehr Dr.

Copyright ThinkArt Lab ISSN 2041-4358



# Vorentwurf

Heideggers Entwurf der Weltoffenheit

Gotthard Günthers Kenogrammatik

Memristive Materialstrukturen

Verallgemeinerte Bifunktionalität

Medien:

Begrifflich, diagrammatisch, formal-  
sprachlich, technisch-konstruktive

# Martin Heidegger: Was heisst Denken?

- <http://www.youtube.com/watch?v=65IK6XJ-tMA>
- <http://www.youtube.com/watch?v=9vR4K0zi6SI>
- <http://www.youtube.com/watch?v=KK8yYW5CNOo>
- ".....wir vermögen nur solches, was wir mögen, solches dem wir zugetan sind....."
- ".....das denken lernen wir, indem wir auf das achten was es zu bedenken gibt....."
- ".....vielleicht hat der bisherige Mensch seit Jahrhunderten bereits zuviel gehandelt und zu wenig gedacht....."
- ".....die Beschäftigung mit der Philosophie kann uns sogar am hartnäckigsten den Anschein vorgaukeln das wir denken, weil wir doch philosophieren..."
- youtube.com

# Fourth Element

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.



# Die Drei-Einigkeit von URI

*Kondensator, Widerstand und Induktion, URI, und ihre Generalisierungen, haben die Technologie der letzten 2 Jahrhunderte tiefen-strukturell geprägt.*

Die Heros sind Ohm, Ampere, Faraday, Hertz.

*Strom, Widerstand, Spannung, das Magische Dreieck U-R I.*

Die Drei-Einigkeit hat keine kulturelle Verankerung in der Han-Chinesischen Kultur. Leon Chua eröffnete mit dem Memristor die nano-technologische Theorie memristiver Systeme.

Der *Digitalismus* und seine medien-theoretischen Propagandisten haben keinen Zugang zu einer Dekonstruktion solcher Trinität gesucht.

Vierheiten – 4folds

Heidegger: Das Geviert

Leon Chua: The Fourth Element

Nanophysik: Pinched-Hysteresis Loop

Diamond-Theorie

Diamond Strategien

Bifunktionalität

Vertauschbarkeit

## Four Goddesses

- "Die Drei als Einheit gesehen und in Beziehung zur Ureins gebracht, ist das **Vierte**, welches nicht etwa progressive 'entsteht', sondern rückblickend als von jeher existent erkannt wird." (Marie-Louise von Frantz)

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Diamond of Memristics

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

Die 4 Grund-Funktionalitäten memristiver Systeme  
(bzgl. Resistor, gilt für Kapazitor, Induktor ebenso)

1. *Resistor*: First-order Funktionalität als Widerstand
2. *Memory of resistance*: Second-order Speichereungsfunktionalität des vorangegangenen Widerstands
3. *Non-volatile Funktionalität*: Energiezufuhr-Unabhängigkeit der second-order Speicherung (1. - 3. Chua, Williams)
4. *Vermittlerfunktionalität* : Interaktivität zwischen diskontexturalen memristiven Crossbar-Konstruktionen (Kaehr)

## Mem-Systeme als Umgebungen von (I, R, C)

- Umgebung des Resistors R ´ Memristor
- Umgebung des Capacitors C ´ Memcapacitor
- Umgebung des Inductors I ´ Meminductor

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Diamond of Memristance

- Diamond-Ableitung der Memristance

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Master-Slave relationality

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.



QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Flip-Flop als kategoriale Komposition

- Kategorisierung der schalt/logischen Bestimmung des Flip-Flops als Komposition zur Vorbereitung einer Diamondisierung und Dissemination

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

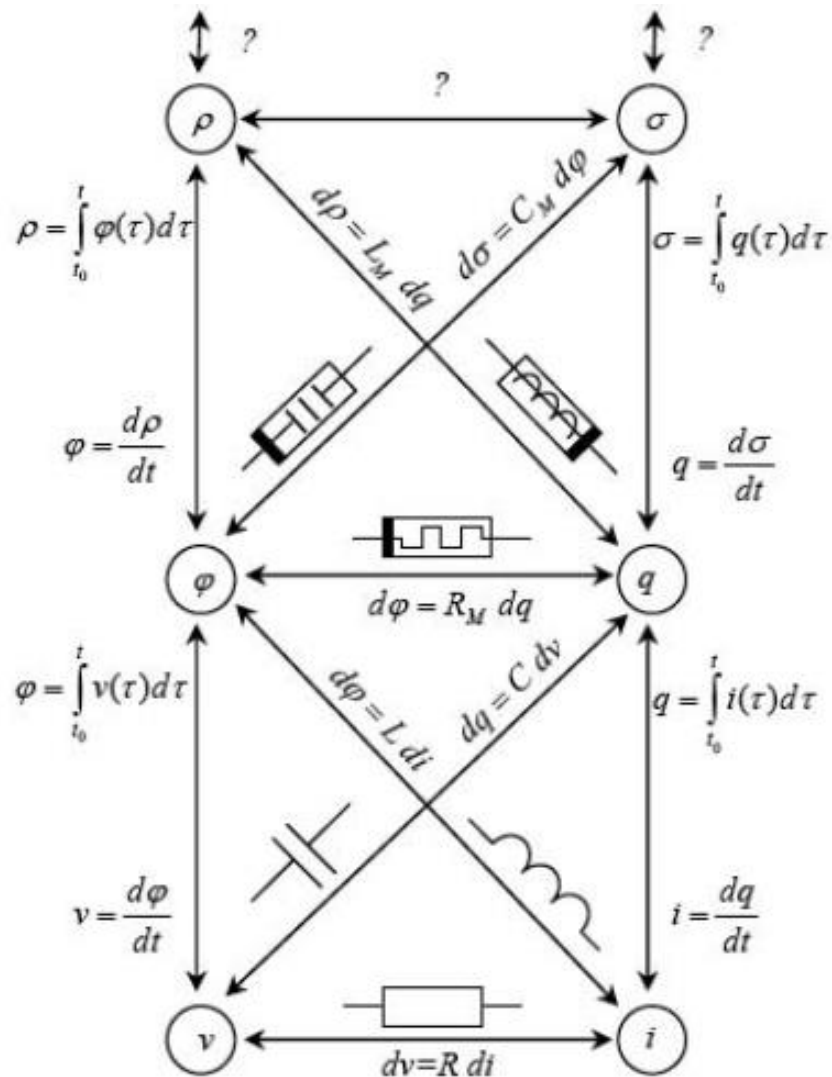
# Diamondization of Flip-Flop Composition

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Heidegger: Das Geviert

- “Die Vier gehören, von sich her einzig, zusammen. Sie sind, allem Anwesenden zuvorkommen, in ein einziges Geviert eingefaltet.”
  - Das Denken denkt
    - Die Welt weltet
    - Das Sein west
    - Die Zeit zeitigt
    - Der Raum räumt
  - Das Ereignis ereignet
- Formel  $aX_nX_v(t)$  (Tzewan Kwan)

# Disreptionen der Mem-Funktionalitäten



# Spekulative Symbole für first- bis third-order mem-Elemente

## Symbolic diagrams

- **first – order elements** -

- **second – order elements** - : - **first – order elements** - :  
**mem**

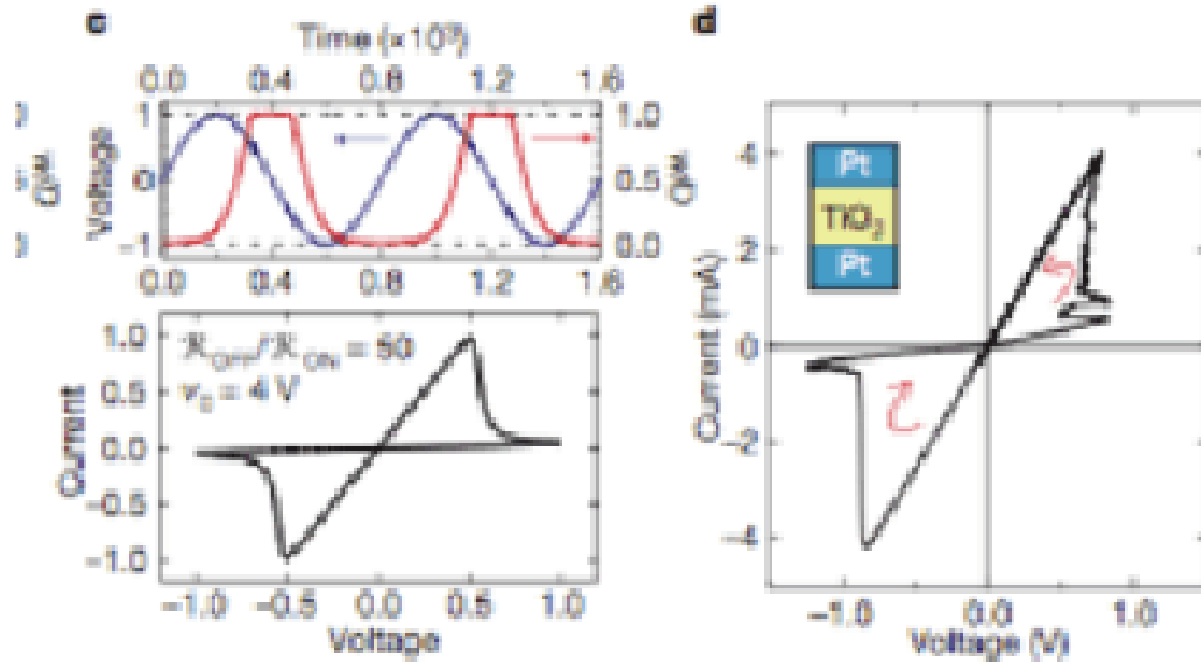
- **third – order elements** | - : **second – order elements**  
↕ X ↕  
**second – order elements** |

# Pinched-Hysteresis Loop

Hysteresis is essential to the workings of the **memristor**, a circuit component which "remembers" changes in the *current* passing through it by changing its *resistance*.

Its data curve is represented by a **pinched**-hysteresis loop.

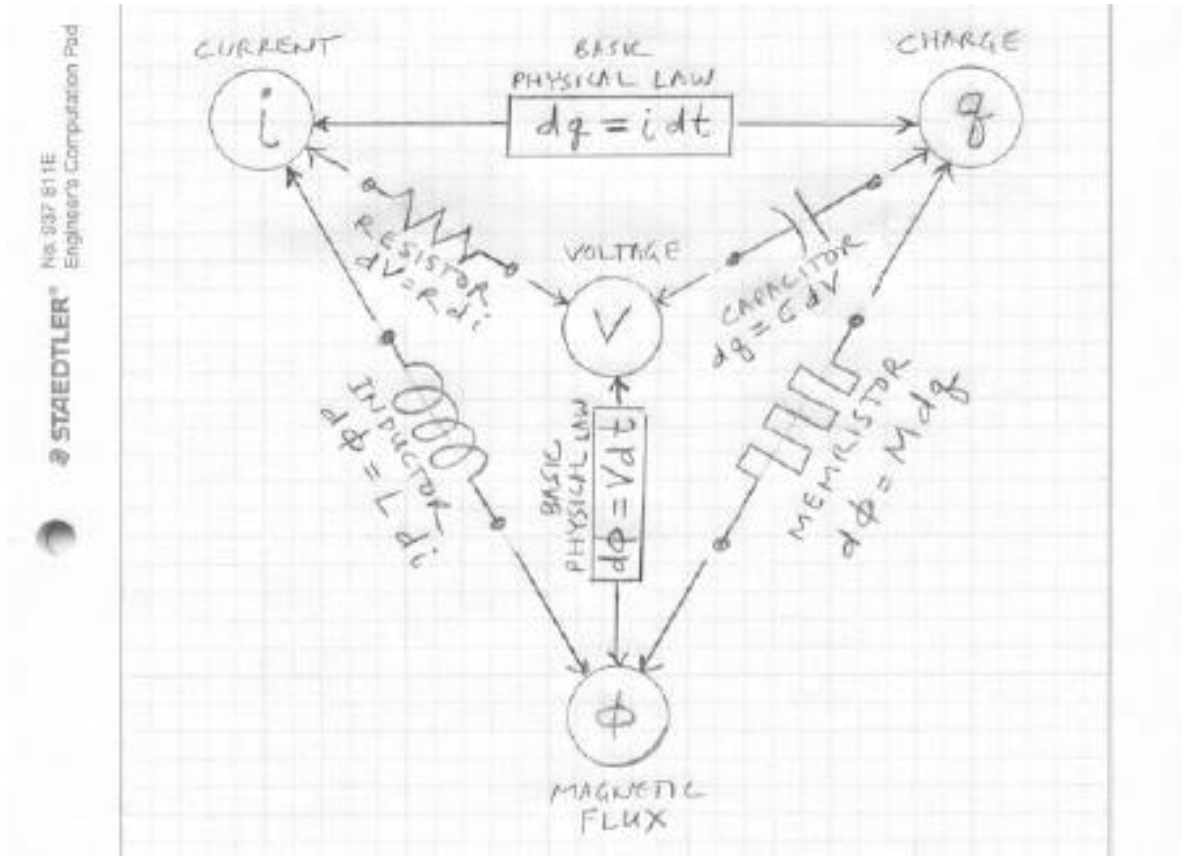
# Pinched-Hysteresis Loop



time. In all cases, hard switching occurs when  $w/D$  closely approaches the boundaries at zero and one (dashed), and the qualitatively different  $i$ - $v$  hysteresis shapes are due to the specific dependence of  $w/D$  on the electric field near the boundaries. d, For comparison, we present an experimental  $i$ - $v$  plot of a Pt- $\text{TiO}_2$ -Pt device<sup>22</sup>.



# Leon Chua: The Forth Element



# LEON O. CHUA, Memristor- The Missing Circuit Element (1971)

- "This paper presents the logical and scientific basis for the *existence* of a new two-terminal circuit element called the memristor (contraction for memory resistor) which has every right to be as *basic* as the three classical circuit elements already in existence, namely, the resistor, inductor, and capacitor."
- "From the logical as well as axiomatic points of view, it is necessary for the sake of *completeness* to postulate the existence of a fourth basic two-terminal circuit element which is characterized by a  $\phi$ - $q$  curve."
- [http://www.lane.ufpa.br/rodrigo/chua/Memristor\\_chua\\_article.pdf](http://www.lane.ufpa.br/rodrigo/chua/Memristor_chua_article.pdf)

# Eigenschaften des Memristors

Analog und digital

Non-volatile

Memory und Computation

Logisches Verhalten: materiale Implikation

Physikalisches Verhalten: non-linear

Nano-elektronische two-terminal Existenz

Memristor: two-terminal nonlinear resistor with memory.

(Transistoren sind 3-terminal, linear, digital, micro-elektronisch, volatile)

# Steinbuch Karlsruhe 1963

- “Der ferromagnetische Werkstoff hat eine “**Erinnerung**”, ob er einst positiv oder negativ vormagnetisiert wurde; ein solcher Kern kann also (mindestens) eine Nachrichteneinheit (ein Bit) speichern.” (120)
- Zusammensetzung und Struktur der Ferrite ermöglicht eine “rechteckige Hysteresisschleife”.

Die Steinbuchs Schleife (loop) ist im **Kontrast** zu Chuans Schleife ohne pinch (Schnittpunkt)

# Sharp hysteresis loop of a Schmitt trigger

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Electronic Mem-Emblems

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Quantenphysik und Zeit

- Zeitlosigkeit
- Von Weizsäckers Zeitlogiken
- Hans Primas Tensed-nicht-tensed structures

# *Afterwardness*

- *Schneider, J., On the history of the universe and the beginning of time*
- To summarize, language speaks in a second step about things that it presents, *afterward* in a non linear time, as pre-existing but that it has in fact built itself in a first step. Quantum Physics brings in fact a new perspective by showing that attributes of objects are not table after repeated non-commuting experiments, they can take, randomly, different values.

"The *Aharonov* formulation suggests that each quantum state reduction has a dual vector, both *forward* and *backwards* in time."



- This notion of *afterwardness* is, together with relativity or set theory, one of the greatest conceptual inventions of the XXth century. It can be formalized thanks to non standard (non stratified) set theory as:
  - $t_1 = t_1 \square \rightarrow t_2 \quad (4.1)$
  - meaning that the completed construction of the *first* instant  $t_1$  requires the *second* instant  $t_2$ . This *afterward* construction holds among other for the past.
- <http://www.docstoc.com/docs/2188402/>

# Afterwards Diamond

$t_1 = t_1 \hat{\circ} t_2 :$

Identity arrows

$$t_1 \bullet t_1 \hat{\circ} t_1, t_2 \bullet t_2 \hat{\circ} t_2$$

Substitution

$$t_1 = t_1 \hat{\circ} t_1 \hat{\circ} t_2 \hat{\circ} t_2, \text{ i.e. } H_1 \hat{\circ} t_1 L \hat{\circ} H_2 \hat{\circ} t_2 L$$

commutativity

$$t_1 \hat{\circ} t_1 \hat{\circ} t_2 \hat{\circ} t_2 \hat{\circ} t_1 \hat{\circ} t_2, \text{ i.e.}$$

$$t_1 \hat{\circ} t_{1,2}$$

$$\ddot{\circ} \quad \emptyset$$

$$t_2$$

$$\text{MC: } t_1 @ t_2$$

# diamondization

$\text{diam } \mathbb{H} \quad t_1 \hat{=} t_2 \hat{=} t_2 \text{L}\tilde{n} \quad t_1 \hat{=} t_2 \bullet t_1 \hat{=} t_2$

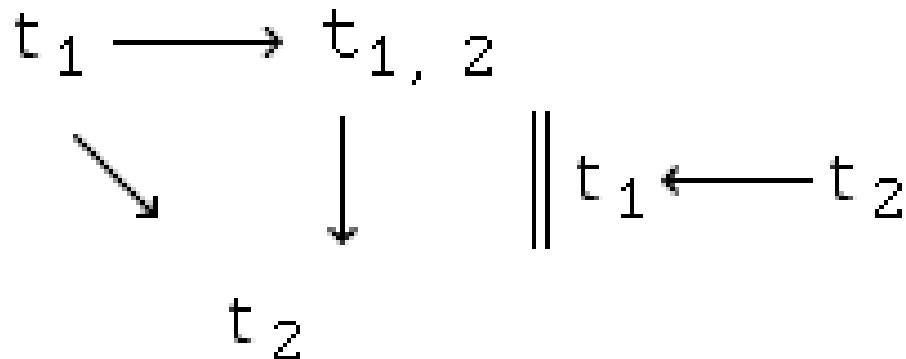
interpretation :

forwards:  $t_1 \hat{=} t_2$

afterwards:  $t_1 \hat{=} t_2$

• : complementary interplay

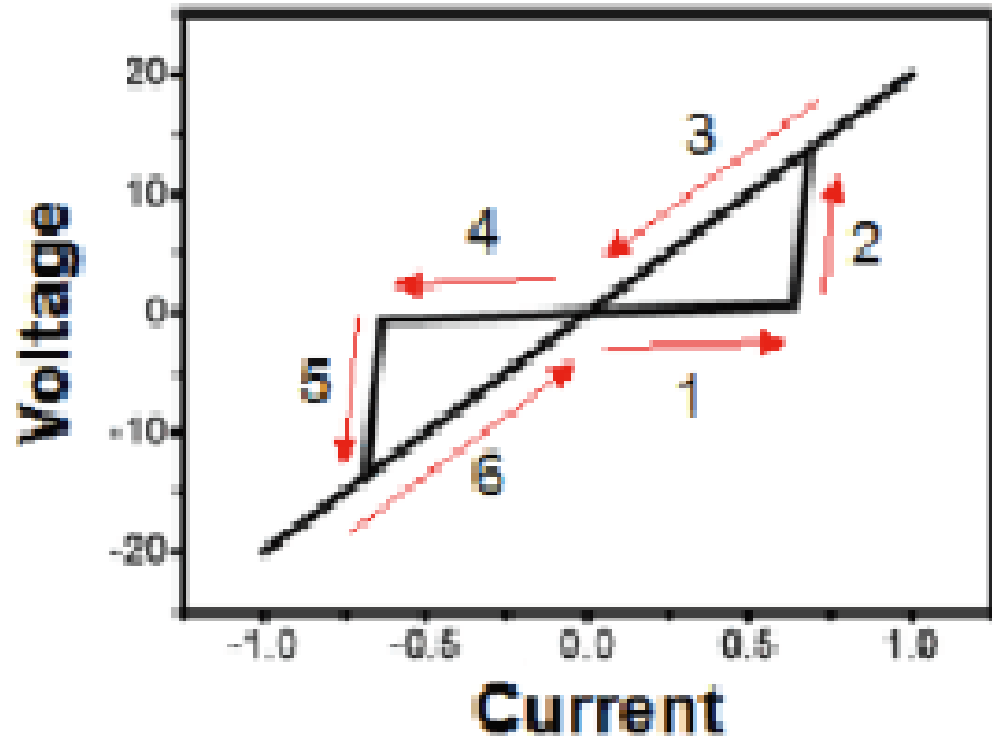
$\text{obj}(t) =$



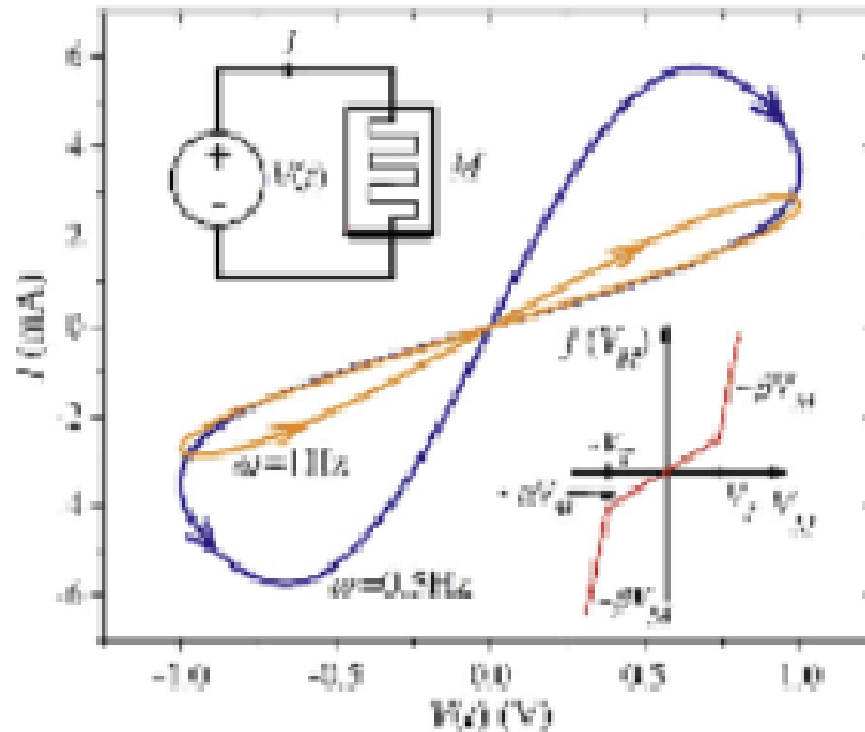
# Left/right

- Formale Darstellung (Kim)

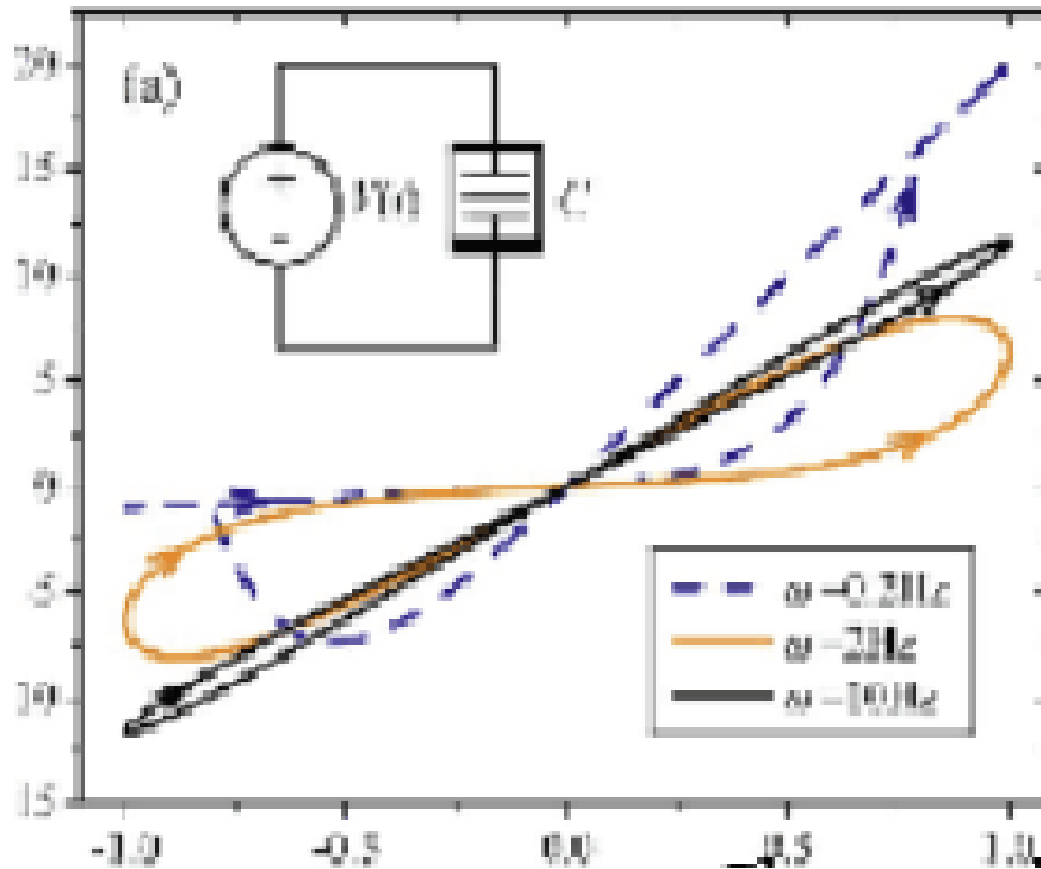
left – loop<sub>1</sub> = (1, 2, 3),  
right – loop<sub>2</sub> = (4, 5, 6),  
pinch = loop<sub>1</sub>  $\cap$  loop<sub>2</sub>,



# Double pinched-Hysteresis



# 3-Hysteresis loops



# 3-interchangeability

$$\text{brown-loop} \in \mathcal{U}_{1.1} = (r\text{-loop}_1, l\text{-loop}_1)$$

$$\text{black-loop} \in \mathcal{U}_{1.2} = (r\text{-loop}_2, l\text{-loop}_2)$$

$$\text{blue-loop} \in \mathcal{U}_{1.3} = (r\text{-loop}_3, l\text{-loop}_3)$$

$$\mathcal{U}_1 = \mathcal{U}_{1.1} \cup \mathcal{U}_{1.2} \cup \mathcal{U}_{1.3} :$$

$$\begin{pmatrix} 1 - \text{loop}_1 \\ \diamond 1.0 .0 \\ r - \text{loop}_1 \end{pmatrix} \circ_{1.2 .0} \begin{pmatrix} 1 - \text{loop}_2 \\ \diamond 0.2 .0 \\ r - \text{loop}_2 \end{pmatrix} \circ_{0.2 .3} \begin{pmatrix} 1 - \text{loop}_3 \\ \diamond 0.0 .3 \\ r - \text{loop}_3 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} (1 - \text{loop}_1 \circ_{1.2 .0} 1 - \text{loop}_2 \circ_{0.2 .3} 1 - \text{loop}_3) \\ \diamond 1.2 .3 \\ (r - \text{loop}_2 \circ_{1.2 .0} r - \text{loop}_2 \circ_{0.2 .3} r - \text{loop}_2) \end{pmatrix}$$

# 3-loops

$$\text{brown-loop} \in \mathcal{U}_1 = (r\text{-loop}_1, l\text{-loop}_1)$$

$$\text{black-loop} \in \mathcal{U}_2 = (r\text{-loop}_2, l\text{-loop}_2)$$

$$\text{blue-loop} \in \mathcal{U}_3 = (r\text{-loop}_3, l\text{-loop}_3)$$

$$\mathcal{U}_1 \cap_{1.2} \mathcal{U}_2 \cap_{2.3} \mathcal{U}_3 = \emptyset$$

$$\mathcal{U}^{(3)} = \mathcal{U}_1 \amalg_{1.2} \mathcal{U}_2 \amalg_{2.3} \mathcal{U}_3 :$$

$$\begin{pmatrix} r\text{-loop}_3 \\ \diamond_{0.2.3} \\ r\text{-loop}_2 \\ \diamond_{1.2.0} \\ r\text{-loop}_1 \end{pmatrix} \circ_{1.2.0} \begin{pmatrix} l\text{-loop}_3 \\ \diamond_{0.2.3} \\ l\text{-loop}_2 \\ \diamond_{1.2.0} \\ l\text{-loop}_1 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} (r\text{-loop}_3 \circ_{0.0.3} l\text{-loop}_3) \\ \diamond_{0.2.3} \\ (r\text{-loop}_2 \circ_{0.2.0} l\text{-loop}_2) \\ \diamond_{1.2.0} \\ (r\text{-loop}_1 \circ_{1.0.0} l\text{-loop}_1) \end{pmatrix}$$



# Super-additivity

**balanced 3 – contextural interchangeability with super – additivity**

$$\mathcal{U}_1 \cap_{1.2} \mathcal{U}_2 \cap_{2.3} \mathcal{U}_3 = \emptyset$$

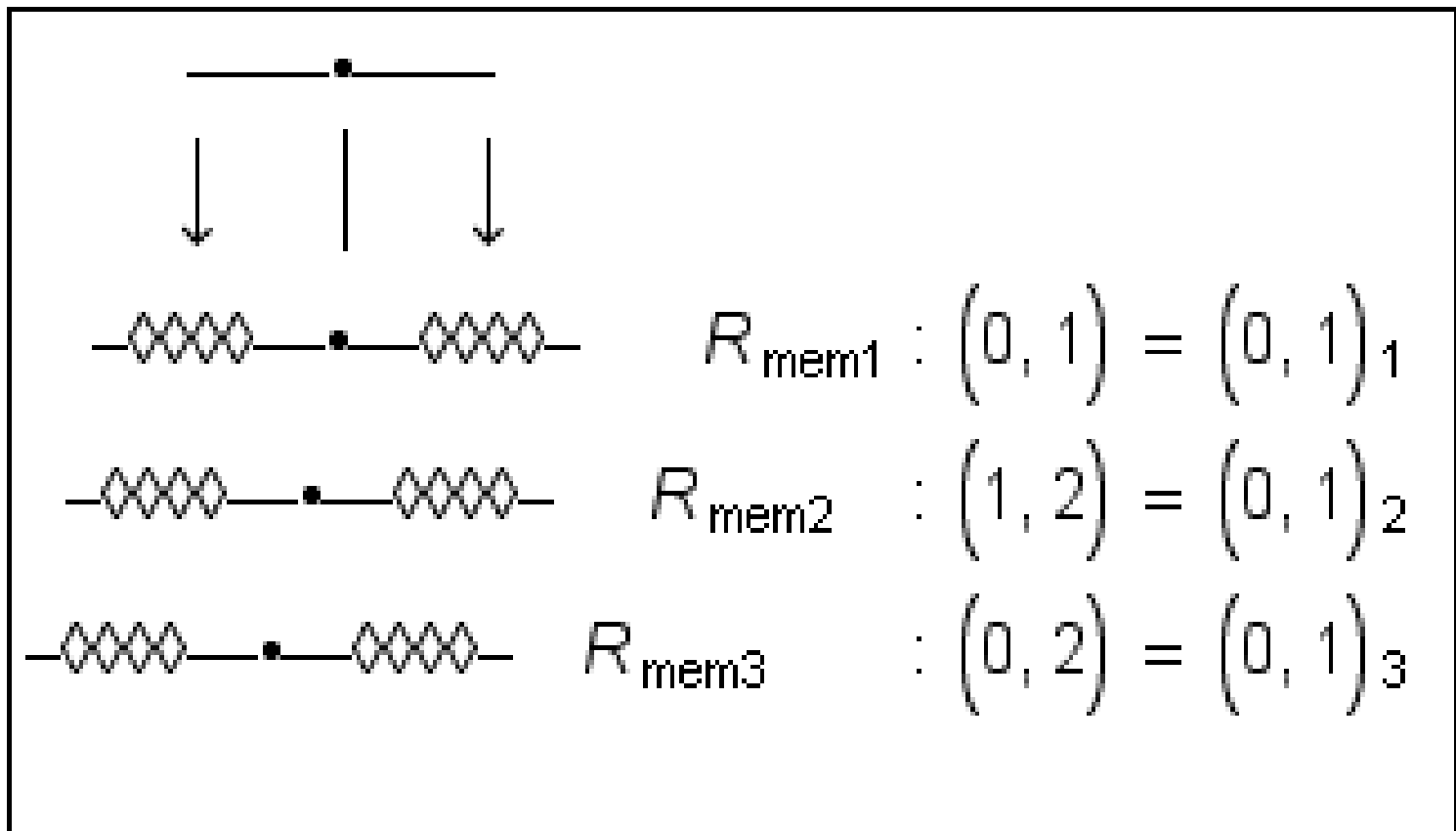
$$\mathcal{U}^{(3)} = \mathcal{U}_1 \amalg_{1.2} \mathcal{U}_2 \amalg_{2.3} \mathcal{U}_3 :$$

$$\mathcal{U}_i = \{w_i, D_i\}, \quad i = 1, 2, 3$$

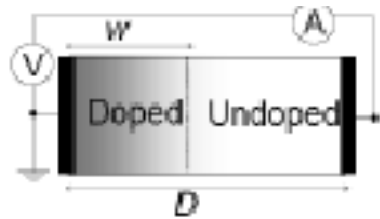
$$\begin{bmatrix} D_1 & D_2 & D_3 \\ w_1 & w_2 & w_3 \end{bmatrix} :$$

$$\left( \begin{array}{c} \left( \begin{array}{c} (w_1 \circ 1.0.0 \ D_1) \\ \amalg_{1.2.0} \\ (w_2 \circ 0.2.0 \ D_2) \\ \amalg_{1.2.3} \\ (w_3 \circ 0.0.3 \ D_3) \end{array} \right) \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} w_1 \\ \amalg_{1.2.0} \\ w_2 \\ \amalg_{1.2.3} \\ w_3 \end{array} \right) \circ_{1.2.3} \left( \begin{array}{c} D_1 \\ \amalg_{1.2.0} \\ D_2 \\ \amalg_{1.2.3} \\ D_3 \end{array} \right)$$

# 3-contexturale Memristoren



# Doped/undoped



Undoped:



Doped:



Ionic drift:

$$\frac{dw(t)}{dt} = \mu_V \frac{R_{ON}}{D} i(t)$$

Electronic current:

$$v(t) = \left[ R_{ON} \frac{w(t)}{D} + R_{OFF} \left( 1 - \frac{w(t)}{D} \right) \right] i(t)$$

$$M(q) = R_{OFF} \left[ 1 - \frac{\mu_V}{D^2} R_{ON} q(t) \right]$$

# Rem-Formel

- Einfache on-off-Formel

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# 3-Rem

- Distribution der einfachen on-off Formel über drei Kontexturen

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

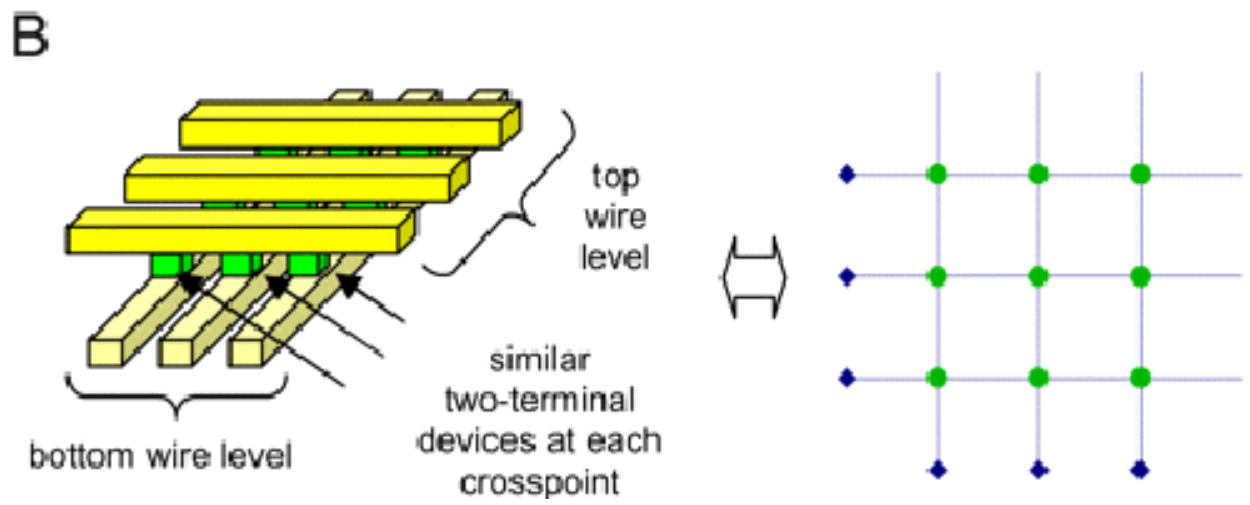
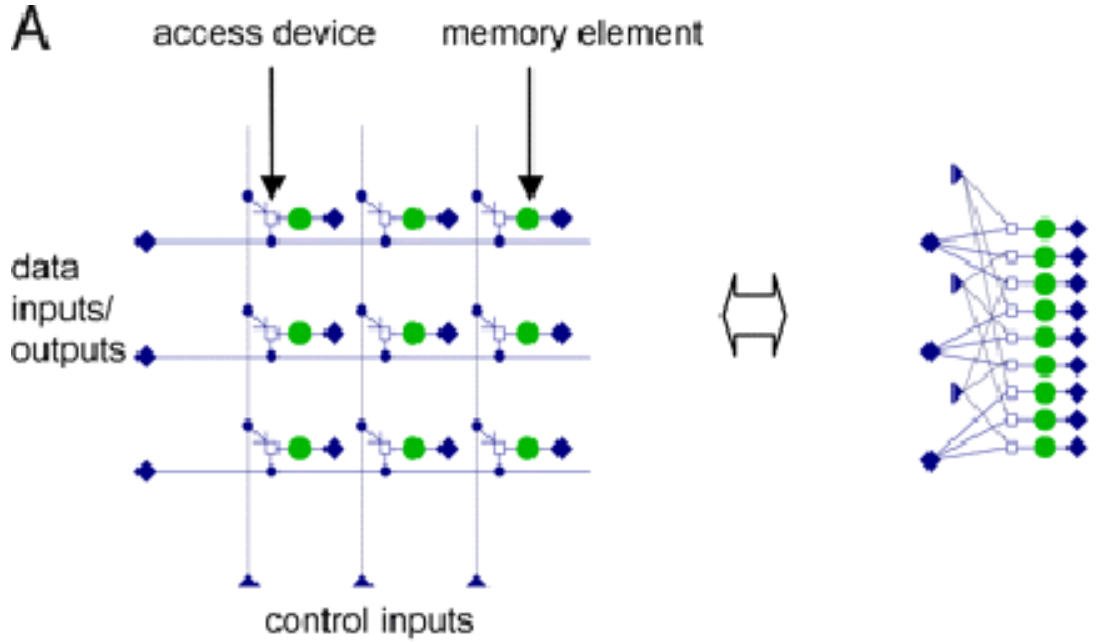
# 3-b

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# 3-Rem-Resultat

QuickTime™ and a  
decompressor  
are needed to see this picture.

# Crossbar





# Aktualität des Zustandes

- The lack of any history-dependence is clearly stated by *“we don't need to know from what system A has been produced”*, only the *actualilty* of the state counts: *“just that it is in state  $\psi$  and available for processing”*. (Coecke)

# I-Operation

- A second-order state as it occurs in memristive systems, i.e. a state with its memory, is not simply an iteration of the nil-operation I.

" Our use of colours already indicated that states are themselves processes too:

$$I \xrightarrow{\psi} A;$$

where I stands for unspecified or unknown i.e. we don't need to know from what system

A has been produced, just that it is in state  $\psi$  and available for processing." (Coecke, p. 9)

arXiv: 0908.1787 v1 [quant - ph], <http://arxiv.org/pdf/0908.1787 v1>

# Kategoriale Leer-Operation

***Categorically***

$$A \xrightarrow{f} I \times A \xrightarrow{f} A:$$

$$S: I \hat{\circ} I$$

$$p \hat{\circ} y : I \hat{\circ}^y A \hat{\circ}^p I$$

$$\text{cod } H_L \bullet \text{ dom } H_L : A_{\text{cod}} \bullet A_{\text{dom}}$$

$$p \hat{\circ} y : I \hat{\circ}^y A_{\text{cod}} \bullet A_{\text{dom}} \hat{\circ}^p I$$

# Diamondisierung der Leer-Operation

## *Diamondization*

$$A \text{ p } | > A \gg \text{ i } M | \text{ p } A > A \gg \text{ j } :$$

$$S \check{S} i : l \hat{o} \quad | \check{S} i$$

$$p \hat{I} y \check{S} J i, j \mathbb{N} \quad | \check{S} i - \hat{o}^y \quad J A \check{S} i \mathbb{N} - \hat{o}^p \quad | \check{S} j$$

$$p \hat{I} y \check{S} J i, j \mathbb{N}$$

$$j \hat{o} - i$$

$$l \hat{o}^y A_{\text{cod}} \cdot A_{\text{dom}} \hat{o}^p |$$

# Umgebungsoperation von I

$$\pi \parallel i \circ \psi \parallel j = \pi \circ \psi \parallel j \circ i$$

$$\pi \parallel i \circ \psi \parallel j : I \parallel i \xrightarrow{\psi} A \circ A \xrightarrow{\pi} I \parallel j \leftarrow i$$

$$\pi \parallel i \circ \psi \parallel j : I \parallel i \xrightarrow{\psi} A \xrightarrow{\pi} I \parallel j \leftarrow i$$

$$\pi \parallel i \sqcup \psi \parallel j = \pi \sqcup \psi \parallel j \sqcup i$$

# Vertauschbarkeit

**Interchangeability** [  $\Pi$ ,  $\Pi$  ]

$$\begin{bmatrix} i_1 & j_2 \\ \pi_1 & \psi_2 \end{bmatrix} :$$

$$\left( \begin{array}{c} \left( \pi_1 \parallel i_1 \right) \\ \Pi \\ \left( \psi_2 \parallel j_2 \right) \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \pi_1 \\ \Pi \\ \psi_2 \end{array} \right) \parallel \left( \begin{array}{c} i_1 \\ \Pi \\ j_2 \end{array} \right)$$

# Konklusion

- A *finite-state* machine has a state but not a memory of that state.
- A *memristic* machine has a state of a state, i.e. a meta-state as a memory of its former state, therefore, a memristic machine is not a finite-state machine.
- A meta-state always can be taken as a simple state by a *reduction* from as-abstraction to is-abstraction.
- Such a reduction *annihilates* memristivity.
- A memristive machine, then, is a machine with a *tensed* time-structure, while finite-state machines are not tensed, i.e. time-less machines.
- Memristic time is of second-order, i.e. an *inter-*

# Spekulationen

- Durch die history- und Zeitbedingtheit memristiver Funktionen ist eine neue Zugangsweise zum *Geist-Materie-Problem* eröffnet.
- Geistige Funktionen zeigen sich immanent im Verhalten der Materialität memristiver Systeme.
- Der klassische top-down Ansatz, der Ideen in die Materie einschreiben will, wird umgekehrt.
- Die Materie ermöglicht dem Schreiben seine subjekt-transzendente Rationalität (Geistigkeit) als materiale Rückbezüglichkeit.
- Rein geistige Rückbezüglichkeit ist *antinomisch* und daher nicht Technik-fähig.



# Eine Auflösung der Selbstreferentialität

- Selbstreferentialität war immer schon ein virulentes Thema der Philosophie.
- In den 70er Jahren hat sich die Second-order Cybernetics um eine Technisierung bemüht.
- Heute erscheint die Selbstreferentialität als ein abgeleiteter Topos von *Lokalisierung* und *Memorisierung* zu sein, der dadurch einer technischen Realisierung näher kommt.
- Seit dem Slogan “*Nicht alle Kreise gehen rund*” ist dies konzeptionell nichts Neues.
- Neu ist die technische Realisierungs Chance durch memristive Systeme.

# Selbsteinschreibung der Materie

- Learning: emulation vs. simulation

*"Any learning a computer displays today is the result of software," says Yang.*

- *"What we're talking about is the computer itself – the hardware – being able to learn."*

- 

- [http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/engineering\\_memristor.html](http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/engineering_memristor.html)

# Gotthard Günthers Subversion des Verständnisses

- Abendländisch:
- Erst kommt das Denken, dann die Technik.
- Transklassisch:
- *Inversion* und *Verschiebung* zu einer Transformation von beiden Verhältnissen auf einem neuen Niveau der Unterscheidung, d.h. Interaktion von Denken und Technik.

