



Leibniz Online

Internetzeitschrift
der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Jahrgang 2024 • Nummer 52

DOI: 10.53201/LEIBNIZONLINE52

Riffat Mehboob, Peter Oehme, Gerhard Pfaff: Is research on the regulatory neuropeptide “substance P” experiencing a renaissance?

Peter Oehme, Gerhard Banse, Gerhard Pfaff: In memoriam Karl Hecht anlässlich seines 100. Geburtstages

Viktoria Weber: Aktivierung von Zellen an der Grenzfläche von Blut und Biomaterialien

Bernhard Wessling: Entropie als Kriterium für Nachhaltigkeit – CO₂-Endlagerung bzw. Nutzung (CCS/CCU) nicht nachhaltig

Klaus Fuchs-Kittowski, Christian Stary: Wie entsteht Information, wo kommt ihre Bedeutung her? Zum Verständnis von Information in der digitalen Gesellschaft mit KI-Systemen wie ChatGPT

Rolf Hecker: Karl Marx’ Studienmaterialien: thematische Vielfalt und inhaltliche Konstanten. Ein Überblick

Werner Ebeling: Rezension zu: Luc Saner: Allgemeiner Teil der Wissenschaften. Auf dem Weg zur Einheit der Wissenschaft und zu einem echten Studium Generale, akademien der wissenschaften schweiz 2023

Ruth Reiber: Information über ein Internet-Korpus von DDR-Texten an der HU Berlin

LO-Redakteur: *Rolf Hecker* r.hecker@leibnizsozietat.de

Für die Inhalte der Beiträge sind in erster Linie die AutorInnen verantwortlich, sie geben nicht notwendig die Meinung der Leibniz-Sozietät wieder.

Redaktionsschluss: 20. März 2024



Is research on the regulatory neuropeptide “substance P” experiencing a renaissance?

Riffat Mehboob (Lahore), Peter Oehme (MLS) and Gerhard Pfaff (MLS)

(Corresponding author: Gerhard Pfaff)

Veröffentlicht: 20. März 2024

Abstract

This article provides a condensed presentation of the authors' activities in the field of “substance P” research from the 1970s to the present day. This period includes the corona pandemic with its various facets up to the current post-corona syndrome. In this article, a link is established between this development and research into the neuropeptide “substance P” (SP). Selected current results, such as the defense function in the respiratory tract, as well as results from several decades ago are considered. These include the role of SP in stress events. Finally, thoughts on the perspective of research on “substance P” are presented.

Resümee

Der vorliegende Beitrag gibt eine komprimierte Darstellung von den Aktivitäten der Autoren auf dem Forschungsgebiet “Substanz P” von den 1970er Jahren bis zum jetzigen Zeitpunkt. In diesen Zeitraum fällt die Coronapandemie mit ihren verschiedenen Facetten bis hin zum aktuellen post-Corona-Syndrom. In dem Beitrag wird eine Verbindung hergestellt -zwischen dieser Entwicklung und den Forschungen zum Neuropeptid “Substanz P” (SP). Dabei werden sowohl ausgewählte aktuelle Ergebnisse wie die Abwehrfunktion im Respirationstrakt berücksichtigt als auch Resultate, die bereits einige Jahrzehnte zurückliegen. Hierzu zählt u. a. die Rolle von SP im Stressgeschehen. Abschließend werden Gedanken zur Perspektive der Forschung an der “Substanz P” aufgezeigt.

Keywords/Schlüsselwörter

Substance P, regulatory peptide, defense and repair function, corona disease, NIH, perspective substance P research

Substanz P, regulatorisches Peptid, Abwehr- und Reparaturfunktion, Coronaerkrankung, NIH, Perspektive der Substanz-P-Forschung

1 Introduction: On the defense function of “substance P” (SP)

In our previous contribution in Leibniz Online “On the role of ‘substance P’ in the respiratory tract in corona infections to the causes of corona-related brain destruction” (see Mehboob et al. 2023a), we had already described the genesis of the present publication. The starting point for it was a scientific event of the Leibniz Society of Sciences in Berlin on October 29, 2021 in Schloss Biesdorf. The speaker there was Wolf-Dieter Ludwig, Chairman of the Drug Commission of the German Medical Profession. His topic was “Drug therapy of COVID-19 and vaccines against SARS-CoV-2: expectations, current results and

uncertainties”. His important closing statement was: “... the next battle against corona is to be waged in the nose.” (see Pfaff/Oehme 2021).

Based on this statement, literature research was carried out, which led to an interesting publication from 2021 with the title “Neurokinin-1 receptor as a potential drug target for COVID-19 treatment” (see Mehboob 2021). The focus of this article was on the attack of coronaviruses in the respiratory tract and the involvement of the neuropeptide “substance P” in the disease process.

A team headed by Peter Oehme had worked on “substance P” in Berlin for many years (see Oehme 1987, 2022; Oehme/Hecht 2017, 2022). It was obviously appropriate to contact the author of the article Riffat Mehboob (founder and CEO of Lahore Medical Research Center LLP, Lahore, Pakistan and known for numerous publications on molecular pathology and neurobiology).

Mehboob started her research on SP in 2011 with Anna Maria Lavezzi, when she studied the cardiorespiratory role of SP in Sudden Infant Death Syndrome (SIDS), sudden perinatal death and still birth (see Lavezzi et al. 2011). Mehboob and Lavezzi examined the immunohistochemical expression of SP in the brainstems of these victims. The caudal trigeminal nucleus region showed SP positivity by immunohistochemistry, and throughout normal development from fetal life to the first postnatal months, there was a gradual rise in the density of SP-positive fibers of the corresponding tract. The morphologic and functional evolution of the human trigeminal nucleus was greatly aided by the delineation of its structure, which had not been extensively studied before. Rather, a large fraction of SIDS victims had a negative or low SP expression in these tract fibers, but a large fraction of abrupt fetal deaths had a high SP-expression. It was concluded that SP has a functional role in the control of autonomic functions and in the early stages of the development of the central nervous system. Furthermore, they proposed a close relationship between the absorption of cigarette smoke in utero and a decreased functional activity of the trigeminal nucleus, which can cause sudden death of the fetus during pregnancy or of the infant in the first months of life. This was supported by the observation of a significant correlation between altered SP staining, sudden unexplained death, and maternal smoking (see Lavezzi et al. 2011).

Later in 2014, some important studies were done on computational analysis of oncogenic properties of Tachykinin-1 gene, which is the gene that encodes SP (see Mehboob et al. 2014). In 2015, she worked on the role of SP in oral squamous cell carcinoma in terms of its diagnostic, prognostic and a possible therapeutic biomarker (see Mehboob et al. 2015). The role of SP in respiratory infections and COVID-19 was not studied much until 2020 when Mehboob and colleagues conducted a clinical trial of NK1R antagonist (Aprepitant) along with a corticosteroid (Dexamethasone) in COVID-19 patients (see Mehboob et al. 2020a). The trial was a huge success and later in 2020 this trial was included in WHO guidelines for the treatment of COVID-19 (see World Health Organization 2020). This treatment was also reported in Thailand News in 2021 (see Thailand Medical News 2021). NK1R, which is the receptor of SP, was also studied in miscarriages in 2020 (see Alwazzan et al. 2020). In 2021, a theory was proposed by Mehboob and Lavezzi, to explain a possible neuropathological explanation of less severity of COVID-19 infection in children on the basis of SP involvement (see Mehboob/Lavezzi 2021). The role of SP in human dental pulp inflammation, pain and breast cancer biopsies was also studied and a strong association was observed between SP/NK1R and disease mechanism (see Mehboob et al. 2020b, 2021). All these series of studies lead to an important study in understanding the respiratory roles of SP including the identification of NK1R antagonist as a promising drug target for COVID-19 treatment (see Mehboob 2021).

Oehme and Mehboob published some more perspectives along with Gerhard Pfaff and Jens Peter von Kries on in-depth exploration of the role of endothelial cells and angiotensin-converting enzyme-II in COVID-19 and associated brain damages (see Mehboob et al. 2023c). These findings shed light into the role of SP in the respiratory tract's defense line and neurological manifestations following COVID-19 infection (see Mehboob et al. 2023a). In addition, the investigation into the role of SP in corona infections and its implications for corona-related brain destruction supports the contention that the SP/NK1R pathway is intricately involved in respiratory viral infection (see Mehboob et al. 2023b).

Research findings and evidences of Mehboob's work in support of this theory of SP involvement in respiratory tract infections including COVID-19 were the symptoms in COVID19 infection and SP nociception, airway hypersensitivity and asthma in both phenomena, variable patterns of COVID-19 disease severity in different age groups, which is also addressed by SP theory, high death rate in COVID-19 patients having comorbidities of diabetes, hypertension and cardiac disorders, viral load correlates with SP secretion. Therefore, it is proposed that SP may be the trigger for cytokine storming during such inflammation (see Mehboob et al. 2023a). SP may be responsible for the initiation of inflammatory pathways and should be explored further. It aggravates the condition due to its over secretion by TG neurons which affects the immune cells as well as other cells in the respiratory tract to release the mediators for cytokine storming, which may be responsible for further complications. The ventilatory role of SP is well-established (see Szereda-Przestaszewska/Kaczyńska 2020).

During the subsequent dialog between Oehme and Mehboob, it became increasingly clear that there are numerous similarities between their fields of work, especially with regard to the function of “substance P” in the respiratory tract. It made sense, therefore, to combine the two areas of work and draw conclusions for the current coronavirus pandemic. With this in mind, the above-mentioned publication in Leibniz Online was published in 2023 (see Mehboob et al. 2023a).

2 Next steps: From the defence function of “substance P” to efficacy in post-corona syndrome

Important parts of her work have been published in the well-known international journal “Frontiers in Neurology” (see Mehboob et al. 2023b). After the publications focusing on the acute symptoms of corona infection and the acute defense function of SP in the respiratory tract, post-corona symptoms increasingly became the focus of public interest.

It seemed, therefore, advisable to compile an up-to-date overview of this subject area. This was taken up in another paper in “Frontiers in Neurology” with the title “Role of endothelial cells and angiotensin converting enzyme-II in COVID-19 and brain damages post-infection” a few months later (see Mehboob et al. 2023c). The work focused on the effect of coronaviruses on endothelial cells – especially in the brain. In connection with this, the post-corona symptoms were discussed, such as abnormal fatigue, significant disturbances of the sleep-wake rhythm, muscle weakness, pulmonary dysfunction, cardiovascular disorders, etc. The mechanism of this post-corona syndrome, the attack of the coronaviruses on angiotensin-converting enzyme II (ACE), was also discussed.

Both publications, which appeared in 2023, met with a great international response. The first paper in “Frontiers in Neurology” was placed on the website of the National Library of Medicine soon after publication, an official website of the United States government.

As feedback on the activities mentioned here, the authors received an invitation from the organizer of the “3rd Edition of World Congress on Virology & Infectious Diseases (WVID 2024)” in June 2024 in Prague for a presentation entitled “The role of Substance P in the

defense line of the respiratory tract and neurological manifestations post COVID-19 infection”.

3 The outlook: Projects for the fight against corona disease

However, competition soon arrived on the scene. Three months after the publication of the first paper in “Frontiers in Neurology”, a paper entitled “Tachykinins and the potential causal factors for post- COVID-19 condition” appeared in one of the most renowned international scientific journals “Lancet Microbe” (see Janket et al. 2023). This paper focused on “substance P”, which belongs to the group of tachykinins. On the other hand, it was a challenge to develop new perspectives.

Therefore, a third project was started. It was entitled “Substance P (SP) – a regulatory peptide with defense and repair functions. Results and projects for the fight against COVID-19”. In December 2023, a paper was submitted to “Frontiers in Neurology” (see Mehboob et al. 2024). The content of the article was no longer just about the acute defense function of SP, but also about repair processes after corona infection. This additional function of SP is based on the concept presented by Oehme as early as 1976 at the Nobel Symposium 37 on “substance P” in Stockholm. It has been shown already at this presentation that the SP-molecule carries various functions and that these functions are encoded in different parts of this peptide consisting of 11 amino acids (see Oehme et al. 1977). The ideas derived from this knowledge led to the working model of “substance P” as a regulatory peptide or regulide (see Oehme et al. 1980a).

Such a regulide has the task of securing homeostasis, i.e., maintaining or restoring disturbed functions. This also includes the restoration of disturbed microcirculation by formation of new blood vessels. Target cells are endothelial cells. The Institute for Drug Research (Institut für Wirkstoffforschung = IWF) of the Academy of Sciences of the GDR in Berlin has worked intensively on this subject. This can be read in detail in the anniversary brochure published in 1986 (see Axt 1985). This work formed the basis for the European patent “Process for the production of wound-healing preparations and such preparations” (see Patent 1984). The patent concerned a modified N-terminal substance P-dipeptide, certainly still interesting for future investigations.

Cultured endothelial cells are suitable for such preparations. Von Kries from the Leibniz Research Institute for Molecular Pharmacology in Berlin, was involved with his staff. This team has an open access technology platform for automated High Throughput Screening (HTS) of cell morphology alterations in response to cell function perturbations either by drug application or by RNA-interference or by Crispr-Cas9 gene editing.

A characteristic of post-corona symptoms is pronounced sleep disturbances. Together with the group of Karl Hecht at the Institute of Pathophysiology of the Charité in Berlin, intensive work was carried out at the IWF on the relationship between SP, stress and sleep. This was certainly pioneering work. The extensive results can be found in summarized form in the “Reflections on Substance P-Research” published by Oehme and Hecht in 2017 and 2022 (see Oehme/Hecht 2017, 2022). Supplementary information can be found in the meeting report published by Akademie-Verlag in 1987 with the lecture by Oehme “Aktuelle Probleme der Peptidforschung”. This meeting report was republished in 2022 by De Gruyter (see Oehme 1987, 2022).

In the opinion of the authors, two aspects should be taken into account in future work on the significance of “substance P”:

Firstly, the coronavirus, or other pathogens, should not be viewed one-dimensionally. The pathogen (virus), transmission medium (vector; e.g., air) and recipient (human) interact and

influence each other. Therefore, all three must be considered for the development of the disease and not the pathogen alone. The leading variable is, therefore, the disease and not the infection.

Mehboob's group is challenging the traditional one-dimensional view of diseases by conducting extensive clinical studies to explore the complex relationships between viruses, transmission media, and human receivers. They want to redefine the main variable as the illness itself, instead of only concentrating on the infectious agent, by using a holistic approach. Recently a study was conducted by Mehboob's group on role of SP/NK1R in dengue patients which is a novel concept and has not been explored before. The results of this study confirmed the hypothesis that SP/NK1R pathway is only involved in respiratory viral infections but not in non-respiratory viral infections such as dengue. However, further studies are required on larger sample size to validate this pilot study (unpublished).

Some of the recent clinical studies that have not yet been published have also found interesting results in this context. In the investigation on the diagnostic and therapeutic potential of SP and Neurokinin-1 Receptor (NK1R) in primary dysmenorrhea, involving NSAIDs and NK1R antagonists, substantial influences on SP/NK1R levels, pain intensity, and severity in participants are detected. Additionally, psychological characteristics such as stress, anxiety, and depression were strongly linked with SP levels, providing valuable insights into the diagnostic role of these neuropeptides and highlighting the efficacy of NK1R antagonists, specifically Dexamethasone and Aprepitant, in alleviating dysmenorrhea-related discomfort. In the research of immunomodulation of the renin-angiotensin system via SP/NK1R in hypertension and cardiac patients, the study found large differences in SP/NK1R levels in hypertensive patients, indicating a possible link with hypertension. However, no significant variations were identified in SP/NK1R levels in cardiac patients compared to the control group. In the investigation of SP and NK1R in diabetes patients with insulin and cortisol, the research observed no significant variations in SP/NK1R levels between diabetic and control groups. NK1R levels varied considerably between men and females, but no apparent relationships were discovered between SP/NK1R and age, cortisol, insulin, or HbA1C levels in diabetes individuals.

Prior papers, particularly the one with NK1R as therapeutic target for COVID-19, demonstrated high associations between SP/NK1R and COVID-19 findings (see Mehboob 2021). These studies showed the intricate link between neuropeptides and viral infections, suggesting they may be key respiratory virus players.

COVID-19 clinical trials also examined SP and NK1R dynamics in infected persons, revealing how these neuropeptides are regulated during respiratory viral infections. These findings support the broader research and contribute to the expanding body of information concerning SP and NK1R in viral respiratory infections. The study on non-respiratory viral illnesses like dengue fever supports the finding that SP levels did not alter much. This dramatic contrast underscores SP and NK1R's distinct role in this situation and supports the idea that they may be involved in respiratory viral infections. This discovery highlights the pathway's particular participation in respiratory viral infections as opposed to its absence in non-respiratory viral conditions.

Mehboob's team is carefully recording its conclusions and learnings from these clinical investigations in order to prepare them for publication. It is anticipated that the upcoming studies will make a substantial contribution to the scientific community's comprehension of the complex linkages involved in the emergence and spread of infectious illnesses. These papers will provide insight into the particular approaches used, the designs of the experiments, and the most important findings discovered during the investigations.

Secondly, the virus should be seen as an external stressor with infectious potential. This makes it possible to make a mental connection with the extensive results of stress research. Here are a lot of links to the results of Oehme and Hecht (see Oehme/Hecht 2014).

Taking these two premises into account, it makes sense to investigate the relationship between

1. susceptibility to corona disease of infected persons,
2. SP levels in the blood, lavage and tissue,
3. chronic stress (e.g., immobilization).

4 A circle is beginning to close

In September 2023, Mehboob was selected as a Senior Research Fellow in NIH, Bethesda, United States and will retain her scientific work opportunities in Lahore. Therefore, a very good combination of experimental work and clinical studies is possible.

This news reminded Oehme of the year 1982. In that year he was invited to give lectures in the USA. The first stage was a lecture on April 12, 1982 at the NIH as part of a seminar¹ on the topic “Modulatory function of substance P”. The chairman of this event was Nobel Prize winner Julius Axelrod.² Among the participants was also William A. (Bill) Krivoy from NIDA's Addiction Research Center in Lexington. Together with him, Oehme published a year later in the journal “Trends in Pharmacological Sciences” essential results of his lecture (see Oehme/Krivoy 1983).

The lecture at the NIH was not the end of the trip to the USA. Afterwards, there was a meeting with the neurophysiologist Robert C. A. Frederickson at Eli Lilly&Co in Indianapolis. Frederickson had published a paper on the effect of SP on the pain threshold in “Science” in 1978 (see Frederickson et al. 1978). In other words, similar results to those published by Oehme's group in “Science” in 1980 (see Oehme et al. 1980b). The presentation in Indianapolis entitled “Substance P as a regulatory peptide” was, therefore, based on both papers.

The third stop during the USA trip of Oehme was the 66th Annual Meeting FASEB³ in New Orleans. He gave a lecture there entitled “Action of Substance P (SP) on stress- induced disorders of behavior and vegetative functions of rat in relation to catecholamine metabolism”.

In summary, it was a very useful stay in the USA with a variety of positive feedback for the research work at the IWF and also for the organization of the scientific life there.

Overall, it is certainly correct in the perspective of SP research not to limit the view only to the relationship of SP to the coronavirus. Such results are relevant for other viruses, other

¹ The NIH Neuroscience Seminar Series features lectures and discussions with leading neuroscientists. Sponsored

by NINDS, NIMH, NIA, NIDCD, NIDA, NICHD, NEI, NIAAA, NIDCR, NHGRI and NC CIH, the series offers seminars on aspects of molecular, cellular, developmental and cognitive neuroscience as well as neuroscience related topics in disease, pain, and genetics.

² Axelrod was an American pharmacologist and neurochemist who, in 1970, received together with U. S. von Euler and Bernard Katz the Nobel Prize in Physiology/Medicine for their work on neurotransmitters. He was elected a Foreign Member of the Academy of Sciences of the GDR in 1984.

³ The Federation of American Societies for Experimental Biology (FASEB) is a non-profit organization of scientific societies in the United States. With a focus on the biological and biomedical sciences, the federation represents scientists in such fields as anatomy, physiology, immunology, biochemistry, molecular biology, toxicology, genetics, and nutrition.

germs or other stressors (e.g., nanoparticles) that enter the respiratory tract and other organs, including the brain, via the airborne vector. Such an approach could lead to a renaissance of SP research. Increasing usability for diagnostics, therapy and prevention in therapy is to be expected.

In her time in the NIH, Mehboob wants to start research on defining the function of heavy chain of mouse class V myosin (Va) in the brain and will make use of new myosin Va conditional knock out (KO) mouse recently developed by the research group of John Hammer. These are actin-based motors that mediate the proper intracellular localization of diverse organelles, mRNAs and proteins. Myosin-Va is encoded by Dilute (*Myo5a*), one of the three class V myosin genes present in mammals (see Sellers/Weisman 2008).

While the earlier work of Hammer’s group used the straight myosin Va knockout mouse revealed a role of myosin Va in synaptic plasticity/motor learning in the cerebellum (see Wagner et al. 2011), those findings cannot explain most of the profound neurological phenotype exhibited by these mice, which includes tonic-clonic seizures, opisthotonos and severe ataxia, resulting invariably in death at ~P21. Mehboob will use a variety of approaches (e.g., crossing the new myosin Va cKO mouse with cre drivers for various neuron and interneuron populations in an effort to zero in those neurons/interneurons most affected by the loss of myosin Va. She will then use a variety of techniques to define in mechanistic terms what myosin Va does in those neurons/ interneurons, and what goes wrong when it is missing. Here future scientific work at the powerful NIH in the USA offers good opportunities for the perspective development in the SP research.

There are now ongoing clinical studies at LMRC, Lahore that are focused on SP. The aim of these studies is to improve the understanding and application of SP to a variety of medical questions and problems.

Bibliography

- Alwazzan, Ahmad / Mehboob, Riffat / Hassan, Amber / Perveen, Shahida / Sadaf / Gilani, Syed Amir / Ahmad, Fridoon Jawad / et al. (2020): “Elevated neurokinin-1 receptor expression in uterine products of conception is associated with first trimester miscarriages”. *Frontiers in Physiology* 11, 554766.
- Axt, Joachim (Red.) (1985): Institut für Wirkstoffforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR 1976-1986. Berlin 1985, 93 Seiten <https://leibnizsozietat.de/wpcontent/uploads/2022/02/IWF-Jubilaebroschuere-1985.pdf>.
- Frederickson, Robert. C. A. / Burgis, V. / Harrell, C. E. / Edwards, J. D. (1978): “Dual actions of Substance P on nociception: possible role of endogenous opioids”. *Science* 199, 1359-1362.
- Janket, Sok-Ja / Fraser, Douglas D. / Baird, Alison E. / Tamimi, Faleh / Sohaei, Dorsa / Conte, Harry A. / Prassas, Ioannis / Diamandis, Eleftherios (2023): “Tachykinins and the potential causal factors for post-Covid-19 condition”. *Lancet Microbe*, 4: e642–50.
- Lavezzi, Anna Maria / Mehboob, Riffat / Maturri, Luigi (2011): “Developmental alterations of the spinal trigeminal nucleus disclosed by substance P immunohistochemistry in fetal and infant sudden unexplained deaths”. *Neuropathology* 31, 405-413.
- Mehboob, Riffat / Shahzad, Syed Adnan / Ali Madeeh, Hashmi / Ahmad, Fridoon Jawad (2014): “Vertebrate specific oncogenic TAC1 has unconventional networking properties”. *Healthmed* 8, 843-849.

- Mehboob, Riffat / Tanvir, Imrana / Warraich, Riaz Ahmad / Perveen, Shahida / Yasmeen, Sehrish / Ahmad, Fridoon Jawad (2015): “Role of neurotransmitter Substance P in progression of oral squamous cell carcinoma”. *Pathology-Research and Practice* 211 (3), 203-207.
- Mehboob, Riffat / Ahmad, Fridoon Jawad / Qayyum, Ahad / Rana, Muhammad Asim / Gilani, Syed Amir / Tariq, Muhammad Akram / Ali, Gibran / Akram, Shehla Javed (2020a): “Aprepitant as a combinant with dexamethasone reduces the inflammation via neurokinin 1 receptor antagonism in severe to critical Covid-19 patients and potentiates respiratory recovery: A novel therapeutic approach”. *MedRxiv* 2020-08.
- Mehboob, Riffat / Gilani, Syed Amir / Tanvir, Imrana / Hassan, Amber / Khalid, Sidra / Javaid, Shaista / Hasan, Sana / Waseem, Humaira / Alwazzan, Ahmad / Munoz, Miguel (2020b): “Prognostic significance of substance P/neurokinin 1 receptor and its association with hormonal receptors in breast carcinoma”. *BioMed Research International*, 2021.
- Mehboob, Riffat (2021): “Neurokinin-1 receptor as a potential drug target for COVID-19 treatment”. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 143: 112159.
- Mehboob, Riffat / Lavezzi, Anna Maria (2021): “Neuropathological explanation of minimal COVID-19 infection rate in newborns, infants and children—a mystery so far. New insight into the role of Substance P”. *Journal of the Neurological Sciences* 420, 117276.
- Mehboob, Riffat / Hassan, Sana / Gilani, Syed Amir / Hassan, Amber / Tanvir, Imrana / Waseem, Humaira / Hanif, Asif (2021): “Enhanced neurokinin-1 receptor expression is associated with human dental pulp inflammation and pain severity”. *Biomed Research International* 2021, 1-7.
- Mehboob, Riffat / Oehme, Peter / Pfaff, Gerhard (2023a): “On the role of ‘substance P’ in the respiratory tract in corona infections to the causes of corona-related brain destruction”. *Leibniz Online*, Nr. 48.
- Mehboob, Riffat / Oehme, Peter / Pfaff, Gerhard (2023b): “The role of Substance P in the defense line of the respiratory tract and neurological manifestations post COVID-19 infection”. *Frontiers in Neurology (Section Neuroinfectious Diseases)* 14:1052811. doi: 10.3389/fneur.2023.1052811.
- Mehboob, Riffat / von Kries, Jens Peter / Ehsan, Kashifa / Almansouri, Majid / Bamaga, Ahmed K. (2023c): “Role of endothelial cells and angiotensin converting enzyme-II in COVID-19 and brain damages post-infection”. *Frontiers in Neurology (Section Neuroinfectious Diseases)* 14:103389. doi: 10.3389/fneur.2023.1210194.
- Mehboob, Riffat / Oehme, Peter / Anwar, T. / von Kries, Jens Peter (2024): “Substance P (SP) – a regulatory peptide with defense and repair functions. Results and projects for the fight against COVID-19”. Submitted to *Frontiers in Neurology*.
- Oehme, Peter / Bergmann, Jutta / Bienert, Michael / Hilse, Heinz / Piesche, Lothar / Minh Thu, L. P. / Scheer, Elfriede (1977). “Biological action of Substance P – its differentiation by affinity and intrinsic efficacy”. In: *Substance*. Eds: U. S. von Euler and B. Pernow. New York, NY: Raven Press. pp. 327–35.
- Oehme, Peter / Hecht, Karl / Piesche, Lothar / Hilse, Heinz / Morgenstern, Eve / Poppei, Marianne (1980a): “Substance P as a modulator of physiological and pathological processes”. In: *Neuropeptides and Neural Transmission*. International brain research organization (IBRO) monograph series. C. A. Marsan und W. Z. Traczyk (eds.). 159-164. Raven Press New York.
- Oehme, Peter / Hilse, H. / Morgenstern, E. / Göres, E. (1980b): “Does Substance P produce analgesia or hyperalgesia?”. *Science* 208, 305–307.

- Oehme, Peter / Krivoy, William. A. (1983): “Substance P: a peptide with unusual features”. Trends in Pharmacological Sciences 4, 521–523.
- Oehme, Peter (1987, 2022): “Aktuelle Probleme der Peptidforschung”. Akademie-Verlag Berlin. De Gruyter.
- Oehme, Peter / Hecht, Karl (2017, 2022): “Reflektionen zur Substanz P-Forschung; Reflections on Substance P Research”. Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin.
- Patent EP0165492 (1984): “Verfahren zur Herstellung wundheilungsfördernder Präparationen und solche Präparationen”. Berlin Chemie AG.
- Pfaff, Gerhard / Oehme, Peter (2021): “Wie ist der Stand bei COVID-19? ”. Deutsche Apotheker Zeitung 47, 75.
- Sellers, James R. / Weisman, Lois S. (2008): “Myosin V”. in Myosins: A Superfamily of Molecular Motors, Springer Link, 289-323.
- Szereda-Przestaszewska, Malgorzata / Kaczyńska, Katarzyna (2020): “Serotonin and substance P: Synergy or competition in the control of breathing”. Autonomic Neuroscience 225, 102658.
- Thailand Medical News (2021): “Researcher proposes using aprepitant as a drug to target neurokinin-1 receptors to prevent Covid-19 cytokine storms”. <https://www.thailandmedical.news/news/researcher-proposes-using-aprepitant-as-a-drug-to-target-neurokinin-1-receptors-to-prevent-covid-19-cytokine-storms>.
- Wagner, Wolfgang / Brenowitz, Stephan D. / Hammer III, John A. (2011): “Myosin-Va transports the endoplasmic reticulum into the dendritic spines of Purkinje neurons”. Nature Cell Biology 13 (1), 40-48.
- World Health Organization (2020): “Therapeutics and COVID-19: living guideline”. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336729/WHO-2019-nCov-remdesivir-2020.1-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

E-Mail-Adresse des korrespondierenden Verfassers: pfaff.pigmente@gmx.de



In Memoriam Karl Hecht anlässlich seines 100. Geburtstages

Peter Oehme, Gerhard Banse, Gerhard Pfaff (alle MLS)

Veröffentlicht: 20. März 2024



Am 15. Februar dieses Jahrs würde unser Freund, Kollege und Mitstreiter Professor Dr. Karl Hecht seinen 100. Geburtstag begehen. Das war sein erklärtes Ziel – und fast hätte er es erreicht: Am 22. September 2022, also mehr als ein halbes Jahr nach seinem 98. Geburtstag, ist er – bis zuletzt wissenschaftlich engagiert und hochproduktiv – verstorben.

Geboren wurde Karl Hecht in Wolmirstedt (Kreis Nebra). Nach dem Studium der Humanmedizin an der Humboldt Universität zu Berlin folgten zunächst 1957 die Promotion und 1970 die Habilitation. Seine wissenschaftlichen Arbeiten begann er an der Deutschen Akademie der

Wissenschaften zu Berlin (DAW), die nach der Akademiereform 1972 in Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) umbenannt wurde. Hier gehörte er zu den Pionieren der Forschungen zur Zeitrhythmik in Verbindung mit Verhaltens- und Stressforschung. 1971 wurde er zum ordentlichen Professor der Sektion Physiologie an der DAW ernannt, 1977 zum Professor für Physiologie und Direktor des Instituts für Pathophysiologie an der Berliner Charité berufen. Hier begründete er eine moderne Schlafforschung. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Wirkstoffforschung (IWF) der AdW, insbesondere mit dem Pharmakologen Peter Oehme, erfolgten umfangreiche Arbeiten zu stress- und schlafregulierenden Peptiden, insbesondere der Substanz P. Karl Hecht baute in seinen Untersuchungen zum Stress auch auf den Forschungsergebnissen des „Vaters der Chronobiologie“ Franz Halberg auf. Von 1972 bis 1990 war Karl Hecht Koordinator Chronobiologie und Chronomedizin der raumfahrtmedizinischen und biologischen Arbeitsgruppe im Interkosmos-Programm der sozialistischen Länder.¹

Nach seinem altersbedingten Ausscheiden aus der Humboldt-Universität begann 1991 für Karl Hecht seine zweite, ebenso produktive wissenschaftliche Periode. Diese umfasste Arbeiten zur Weltraummedizin, zum Mineralstoffwechsel, zur Blutdruckregulation, zu schädlichen Umweltfaktoren und vor allem zu einer modernen, auf Prävention orientierten Gesundheitsforschung. Sein Leitmotiv hierbei war „Gesundheit ist mehr als Medizin. Ganzheitliche Medizin statt partikulären Denkens und Handelns“.

Wichtig für Karl Hechts eigenes Leben war es, immer kreativ zu sein und emotionale Intelligenz anzustreben. Er legte großen Wert auf natürliche Körperbewegung und ständige Aktivität. Als bedeutende naturwissenschaftliche Forschungsrichtung sah er die

¹ Vgl. [https://de.wikipedia.org/wiki/Karl_Hecht_\(Mediziner\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Karl_Hecht_(Mediziner));
<https://leibnizsozietat.de/nekrolog-auf-unseren-kooperationspartner-prof-dr-karl-hecht/>.

Psychoneurobiologie an, die das Objektivieren der Einheit von Körper, Geist und Seele einschließt. Damit im engen Zusammenhang steht die Schaffung einer Lebenswissenschaft. Karl Hecht vertrat die Ansicht, dass die Menschen erkennen müssen, dass sie sich mit emotionaler Intelligenz besser gesund halten oder heilen können als (vorrangig) mit Medikamenten. Seine Lebensphilosophie umfasste die Aussage, dass bei Mensch und Natur nichts vollkommen ist. Das Streben nach Vollkommenheit, die aber mit unserem heutigen Erkenntnisstand nie zu erreichen ist, behält trotzdem immer einen hohen Stellenwert. Schließlich ging Karl Hecht immer davon aus, dass mit Optimismus und Willensstärke viel erreicht werden kann und dass es wichtig ist, das Gute im Menschen nicht zu unterschätzen (vgl. Hecht 2011).

Damit verstand sich Karl Hecht stets im Sinne von Rudolf Virchow als bewusster Kämpfer für eine den Menschen zugewandte Medizin mit dem Ziel, Grundlagen zu schaffen zum Einsatz vorbeugender und die Adaptationsfähigkeit des Organismus stärkender Maßnahmen. Damit verbunden war die profunde Vermittlung dieses Wissens in seinen zahlreichen renommierten Büchern, in der langjährigen Lehre und in lebendigen Veranstaltungen für interessierte medizinische Laien. In diesem Zusammenhang ist darauf zu verweisen, dass Karl Hecht jahrelang Mitglied des Präsidiums der Urania – Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse und der Vorsitzende ihrer zentralen Sektion Medizin war.

Mit der Leibniz-Sozietät war Karl Hecht mindestens in zweifacher Hinsicht verbunden: Zum einen durch die Mitwirkung an mehreren Auflagen der Broschüre „Reflektionen zur Substanz P-Forschung“ (vgl. Oehme/Hecht 2022). Diese Arbeit gibt eine Übersicht über ausgewählte Arbeiten der Gruppen der beiden Autoren Karl Hecht und Peter Oehme einschließlich ihrer wichtigsten Kooperationspartner. Sie enthält einen historischen Überblick zur Rolle von Substanz P im Stressgeschehen und ihre Bedeutung für adaptive Prozesse und umfasst dabei folgendes Spektrum:

1. Historischer Rückblick,
2. Wirkung von Substanz P (SP) auf die Schmerzschwelle und stressbedingte Störungen,
3. Wirkung von SP auf Mastzellen,
4. Interaktion von SP mit dem aminergen System und
5. dem Opioidpeptidsystem,
6. Weitere Wirkungen zu Substanz P und SP-Fragmenten,
7. Arbeiten zur Vorbereitung einer klinischen Nutzung von Substanz P,
8. Gedanken zum gegenwärtigen Stand der SP-Forschung und zu ihrer weiteren Entwicklung,
9. Brücke zwischen COVID-19 und Substanz P (vgl. Oehme/Hecht 2022).

Zum anderen war Karl Hecht aktiver Mitwirkender im Arbeitskreis „Zeit und Evolution“ der Leibniz-Sozietät.² Er beteiligte sich intensiv an Diskussionen zur Zeitrhythmik und hielt Vorträge zur Stressforschung (vgl. auch Hörz 2002). Er forderte einen Lebensstil, der in Harmonie mit den Naturgesetzen den Stress als positive Kraft für persönliche Entwicklung und Wohlbefinden nutzt.

Die Ergebnisse der Arbeit von Karl Hecht sind in mehr als 60 Büchern und über 400 wissenschaftlichen Artikeln in nationalen und internationalen Zeitschriften veröffentlicht. 173 Doktoranden hat er zur Promotion geführt. Er war Ehrenmitglied oder Mitglied zahlreicher internationaler Akademien oder Gesellschaften u.a. der internationalen Akademie für Astronautik (Paris).

² Vgl. <http://leibnizsozietat.de/ak-zeit-und-revolution-der-arbeitskreisstellt-sich-vor/#more-6855>.

Bis unmittelbar vor seinem Tode war Karl Hecht intensiv mit der Wissenschaft verbunden. Mit seiner Frau Elena war er ein unzertrennliches menschliches und wissenschaftliches „Tandem“.

Aus Anlass seines 100. Geburtstages werden wir uns gern an ihn als fundierten und kämpferischen Wissenschaftler für eine präventiv orientierte Medizin erinnern. Denn: Diese benötigt gerade in der heutigen schwierigen Zeit einen höheren Stellenwert.

Bibliographie

- Hecht, Karl (2011): *Alt werden und jung bleiben: Aktiv Gesund leben – Ratschläge für ein gesundes langes Leben*. Baunach: Spurbuchverlag.
- Hörz, Herbert (2002): „Rezension Chronopsychobiologie und Stress. Emotioneller Stress durch Überforderung und Unterforderung, hrsg. von Karl Hecht, Ovidiu König, Hans Peter Scherf, Schibri-Verlag, Berlin, Milow 2001, 575 Seiten“. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät* 52 (1), 125–128.
- Oehme, Peter/Hecht, Karl (2022): *Reflexionen zur Substanz P-Forschung / Reflections on Substance P Research*. 12. Oktober 2017; ergänzt 2019; überarbeitete Fassung vom 01.01.2022. <https://leibnizsozietat.de/aktuelle-ueberarbeitung-der-reflexionen-zur-substanz-p-forschung/>.

E-Mail-Adresse des korrespondierenden Verfassers: pfaff.pigmente@gmx.de



Aktivierung von Zellen an der Grenzfläche von Blut und Biomaterialien

Viktoria Weber (MLS)

Veröffentlicht: 20. März 2024

Abstract

Advanced medical care utilizes a wide range of biomaterials, which are in permanent or transient contact with blood or tissue. The application of biomaterials ranges from implantable devices and scaffolds for tissue engineering to devices for extracorporeal therapies, including hemodialysis and apheresis. Upon contact with blood, biomaterials are immediately coated by a dynamic layer of proteins (“protein corona”), which constitutes a new interface between the biomaterial and the blood. Depending on the characteristics of the biomaterial, adsorbed proteins can undergo conformational changes, and cells can be activated to release extracellular vesicles. This may ultimately result in the activation of the contact, complement, and coagulation systems, and trigger immunological responses with potentially detrimental consequences both for the host and for the function of the biomaterial.

Analyzing the interactions of blood and tissue with biomaterials at this interface is an essential prerequisite for the development of surfaces with high biocompatibility while maintaining their function.

Resümee

In der Medizin wird ein breites Spektrum von Biomaterialien eingesetzt. Darunter versteht man (meist synthetische) Polymere, die ständig oder vorübergehend mit Blut oder Gewebe in Kontakt sind. Die Anwendung von Biomaterialien reicht von implantierbaren Geräten und „Scaffolds“ für die Gewebezüchtung bis hin zu Geräten für extrakorporale Therapien, einschließlich Hämodialyse und Apherese. Bei Kontakt mit Blut bildet sich auf dem jeweiligen Biomaterial in kürzester Zeit eine Schicht aus Proteinen, die als „Protein-Korona“ bezeichnet wird und deren Zusammensetzung sich dynamisch ändert. Diese bildet eine neue Grenzfläche zwischen dem jeweiligen Biomaterial und dem Blut und bestimmt in der Folge die Bindung von Zellen an die Oberfläche. Je nach den Eigenschaften des Biomaterials können die adsorbierten Proteine an der Oberfläche Konformationsänderungen erfahren, und es kann zur Aktivierung von Zellen kommen, was unter anderem zur Freisetzung extrazellulärer Vesikel führt. Dies kann eine Aktivierung des Kontakt-, Komplement- und Gerinnungssystems bewirken und immunologische Reaktionen mit potenziell schädlichen Folgen sowohl für den Organismus als auch für die Funktion des Biomaterials auslösen.

Die Analyse der Interaktionen von Blut und Gewebe mit Biomaterialien an dieser Grenzfläche stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung von Oberflächen mit hoher Bioverträglichkeit bei Erhaltung ihrer Funktion dar.

Keywords/Schlüsselwörter

Adsorption, biomaterials, biocompatibility, blood, dialysis, endothelium, extracellular vesicles, coagulation, complement activation, thrombocytes

Adsorption, Biomaterialien, Bioverträglichkeit, Blut, Dialyse, Endothel, extrazelluläre Vesikel, Gerinnung, Komplementaktivierung, Thrombozyten

Biomaterialien und Bioverträglichkeit

Biomaterialien sind (meist) synthetische Materialien, welche in der Medizin für therapeutische oder diagnostische Zwecke Verwendung finden und die in direktem Kontakt mit Gewebe oder mit Körperflüssigkeiten stehen. Bei ihrer Verwendung treten diese Materialien in chemische, physikalische und biologische Wechselwirkungen mit ihrer Umgebung.

Das Spektrum für die Anwendung von Biomaterialien im medizinischen Bereich ist umfangreich und erweitert sich durch den Einsatz neuer Technologien, wie den 3D-Druck. Biomaterialien können biomimetisch wirken, also natürlich ablaufende Prozesse nachahmen oder molekulare Erkennungsstellen bereitstellen, die die Anheftung von Molekülen oder Zellen ermöglichen. Ebenso können sie die mechanischen Eigenschaften ihrer Umgebung imitieren und auf diese Weise das Wachstum und die Differenzierung von Zellen fördern. Sie kommen beispielsweise als Nahtmaterialien und zur Wundabdeckung, für den Gelenks-, Knochen-, Zahn- und Gewebersatz, für Stents, Implantate, sowie für Schlauchsysteme, Filter und Adsorbermaterialien für die extrakorporale Blutreinigung (Hämodialyse, therapeutische Apherese) zum Einsatz. Auf diese letztgenannte Gruppe von Biomaterialien und auf ihre Wechselwirkung mit dem Blut soll hier näher eingegangen werden.

Werden Biomaterialien – etwa beim Kontakt mit Blut oder Gewebe - vom Organismus als fremd erkannt, so hat dies die Aktivierung körpereigener Abwehrmechanismen und Entzündungsreaktionen zur Folge. Daher ist die Bioverträglichkeit ein wesentliches Qualitätsmerkmal von Biomaterialien. Bioverträgliche Materialien verhalten sich im Körper neutral und rufen keine klinisch signifikante Abwehrreaktion, sei sie lokal oder systemisch, hervor (vgl. Klinkmann et al. 1984; Williams 2008; Gawaz et al. 1994). Entscheidend bei der Betrachtung der Bioverträglichkeit ist nicht nur die Eigenschaft einer bestimmten Komponente, sondern der Blick auf das Gesamtsystem. So kann sich etwa die Evaluierung der Bioverträglichkeit eines Dialysesystems nicht auf die Untersuchung der Bioverträglichkeit des Hämofilters beschränken, sondern muss alle relevanten Komponenten, wie Schlauchsysteme, Gerinnungshemmer und deren Zusammenwirken einschließen.

Bei der Entwicklung von Biomaterialien gilt es, sowohl deren Bioverträglichkeit als auch ihre Funktionalität zu berücksichtigen. Diese beiden Pole sind jedoch oftmals schwierig in Einklang zu bringen, weil etwa die Beschichtung eines Biomaterials mit dem Zweck, die Bioverträglichkeit zu verbessern, gleichzeitig die Adsorptionseigenschaften dieses Materials für bestimmte Zielsubstanzen und somit seine Funktionalität verschlechtern kann. Biomaterialien mit ausgezeichneter Funktionalität sind oftmals wenig bioverträglich und umgekehrt. Bei der Entwicklung von Biomaterialien handelt es sich daher häufig um eine Gratwanderung zwischen diesen beiden Anforderungen (vgl. Kizhakkedathu, Conway 2022).

Das Endothel als blutverträgliche Oberfläche

Das Endothel, die innerste Zellschicht unserer Blutgefäße, kann als Beispiel für eine optimal blutverträgliche natürliche Oberfläche gelten. Es bildet eine Barriere zwischen Blut und Gewebe und reguliert Transportvorgänge zwischen dem Blut und dem Gewebe ebenso wie die Adhäsion (Anheftung) zellulärer Blutbestandteile (Blutplättchen, weiße Blutzellen) (vgl. Aird 2007).

Unter physiologischen Bedingungen stellt das Endothel eine geschlossene, gerinnungshemmende Oberfläche dar. Die gerinnungshemmenden und anti-adhäsiven

Eigenschaften werden durch eine Reihe von Mechanismen aufrechterhalten, zu denen die Expression von Gerinnungshemmern an der Endotheloberfläche gehört. Außerdem ist das Endothel von einer Schicht bedeckt, die als Glykokalyx bezeichnet wird und aus sogenannten Glykosaminoglykanen besteht, hauptsächlich aus Heparansulfat. Dieses ist ein Analogon von Heparin, welches in der Medizin als Gerinnungshemmer, aber auch für die Beschichtung von Biomaterialien, wie etwa Stents, eingesetzt wird, um die Thrombusbildung zu vermeiden.

Aktivierungsvorgänge an der Grenzfläche zwischen Blut und Biomaterialien

Jedes Biomaterial, das mit Blut in Kontakt gebracht wird, tritt mit diesem unmittelbar in Wechselwirkung; diese Wechselwirkung kann nicht verhindert, sondern lediglich minimiert werden. Erster Schritt dieser Wechselwirkung ist die Bindung (Adsorption) verschiedener Proteine an die Oberfläche des Biomaterials. Diese Adsorption folgt einer Gesetzmäßigkeit, die nach ihrem Entdecker als Vroman-Effekt beschrieben ist (vgl. Vroman 1962). Demnach erfolgt im Fall einer komplexen Proteinmischung, wie sie im Blut und Plasma vorliegt, zunächst die Adsorption jener Proteine, die in höchster Konzentration vorliegen; diese werden in der Folge durch Proteine ersetzt, die eine höhere Bindungskraft (Affinität) zum jeweiligen Material aufweisen. Die Proteinschicht, die sich auf einem Biomaterial beim Kontakt mit Blut ausbildet, ist maßgeblich für die weitere Interaktion dieses Biomaterials mit seiner Umgebung. Durch die Adsorption von Proteinen, die innerhalb von Sekunden erfolgt, entsteht eine neue, sich dynamisch verändernde, biologisch aktive Oberfläche, die auch als Protein-Corona bezeichnet wird. In Abhängigkeit von den Eigenschaften des Biomaterials können sich bestimmte Proteine an dieser Oberfläche stark anreichern, sodass die Konzentrationen dieser Proteine an der Grenzfläche um ein Vielfaches höher sind als in ihrer Umgebung (Blut). Neben der chemischen Zusammensetzung beeinflussen auch Faktoren wie die Krümmung, die Ladung, oder die Rauheit der Oberfläche die Art und Zusammensetzung der Protein-Corona, man kann daher von einem materialspezifischen Protein-Fingerabdruck sprechen.

Auf die initiale Ausbildung der Proteinschicht auf der Materialoberfläche folgt die Bindung von Zellen, insbesondere von Blutplättchen (Thrombozyten). Ihre Adhäsion an Biomaterialien wird durch Integrine vermittelt, das sind Rezeptoren, die bestimmte auf der Biomaterialoberfläche gebundene Proteine, zum Beispiel Fibrinogen, erkennen. Die Erkennung erfolgt über eine spezifische Aminosäuresequenz, das sogenannte RGD-(Arginin-Glycin-Asparaginsäure)-Motiv. Die Interaktion mit der Oberfläche führt zu einer Aktivierung der Thrombozyten, die ihre Gestalt ändern und bestimmte Mediatoren freisetzen, welche ihre Adhäsion und Aggregation weiter verstärken. Die Aktivierung der Plättchen führt weiters zur Freisetzung extrazellulärer Vesikel, die gerinnungsfördernde Eigenschaften besitzen. Auch weiße Blutzellen (Leukozyten) adhäreren am Biomaterial, auch sie sezernieren extrazelluläre Vesikel, und ihre Interaktion mit gebundenen Plättchen verstärkt die Thrombusbildung an der Oberfläche. Welche Reaktionen auf molekularer Ebene an der Blut-Biomaterial-Grenzfläche ablaufen, wird letztlich von den Materialeigenschaften sowie den an der Oberfläche gebundenen Proteinen und bestimmt (Abbildung 1).

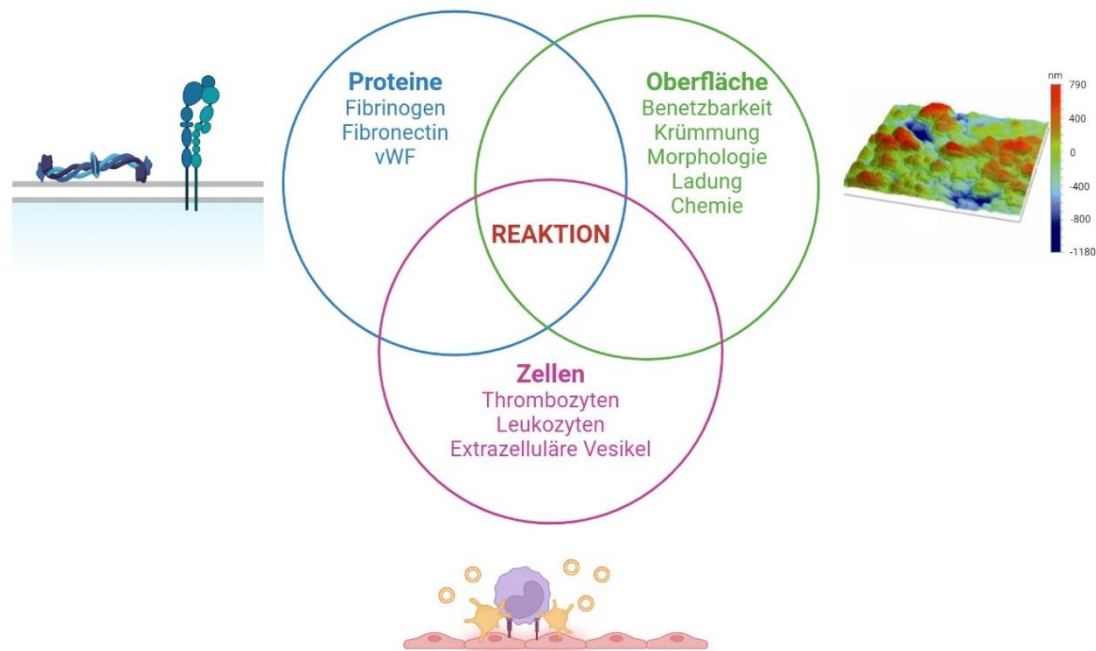


Abb. 1: Die Beschaffenheit von Biomaterialien („Oberfläche“) sowie deren Umgebung bestimmen die Bindung von Proteinen und nachfolgend die Anheftung und Aktivierung von Zellen am Biomaterial. vWF, von Willebrand-Faktor.

Worauf beruht nun die gerinnungsfördernde Aktivität extrazellulärer Vesikel? Diese liegt einerseits darin begründet, dass die Freisetzung von Vesikeln zu einer veränderten Verteilung von Phospholipiden in der Lipiddoppelschicht führt, von der diese Vesikel umgeben sind. Phosphatidylserin wird an der Oberfläche der Vesikel exponiert und bietet gleichsam einen Anker für die Anheftung von Gerinnungsfaktoren. Diese können dadurch auf der Oberfläche der Vesikel interagieren, wodurch der Ablauf der Gerinnung wesentlich beschleunigt wird. Die Bindung und Aktivierung weißer Blutzellen induziert darüber hinaus die Expression von Tissue Factor, dem wichtigsten Auslöser der Gerinnung. Die Bindung und Aktivierung von Thrombozyten und Leukozyten auf der Biomaterialoberfläche und die damit verbundene Freisetzung extrazellulärer Vesikel kann somit sowohl den Funken (Tissue Factor) als auch den Brennstoff (Phosphatidylserin) für den Ablauf der Blutgerinnung liefern.

Adsorbierte Plasmaproteine auf Biomaterialoberflächen vermitteln nicht nur die Adhäsion von Blutzellen und die Aktivierung der Blutgerinnung (Abbildung 2), sondern induzieren auch die Aktivierung des Komplementsystems. Dieses System ist als Teil der angeborenen Immunität von herausragender Bedeutung bei der Abwehr von Infekten und vermittelt eine Vielzahl entzündlicher Reaktionen. Ähnlich wie das Gerinnungssystem - mit dem es phylogenetisch eng verbunden ist - wird das Komplementsystem durch eine Reihe von Substanzen aktiviert und reagiert in Form einer Aktivierungskaskade. Wie das Gerinnungssystem unterliegt auch das Komplementsystem einem komplexen System von Regulatoren.

Die Mechanismen der Komplementaktivierung an Biomaterialoberflächen wurden in der Literatur kürzlich ausführlich zusammengefasst (vgl. Poppelaars et al. 2018). Wesentlich ist, dass alle drei Wege der Komplementaktivierung – der klassische, der Lektin- und der alternative Weg – auch an Biomaterialoberflächen ablaufen können und dass, wie oben

bereits erwähnt, eine enge Interaktion zwischen dem Komplement- und dem Gerinnungssystem besteht; die beiden Systeme aktivieren und verstärken einander. Aktuelle Studien weisen überdies auf komplexe Interaktionen des Komplementsystems mit extrazellulären Vesikeln hin. Im Rahmen von Zuständen mit starker Aktivierung des Komplementsystems, wie beispielsweise bei schwerem Trauma oder während einer Sepsis, wurde eine erhöhte Anzahl extrazellulärer Vesikel im Blutkreislauf von Patienten nachgewiesen. Es gibt zunehmend Hinweise darauf, dass diese Vesikel wichtige Komplementfaktoren sowie Komplementregulatoren auf ihrer Oberfläche tragen, die die Entzündung und den Krankheitsverlauf beeinflussen (vgl. Karasu et al. 2018).

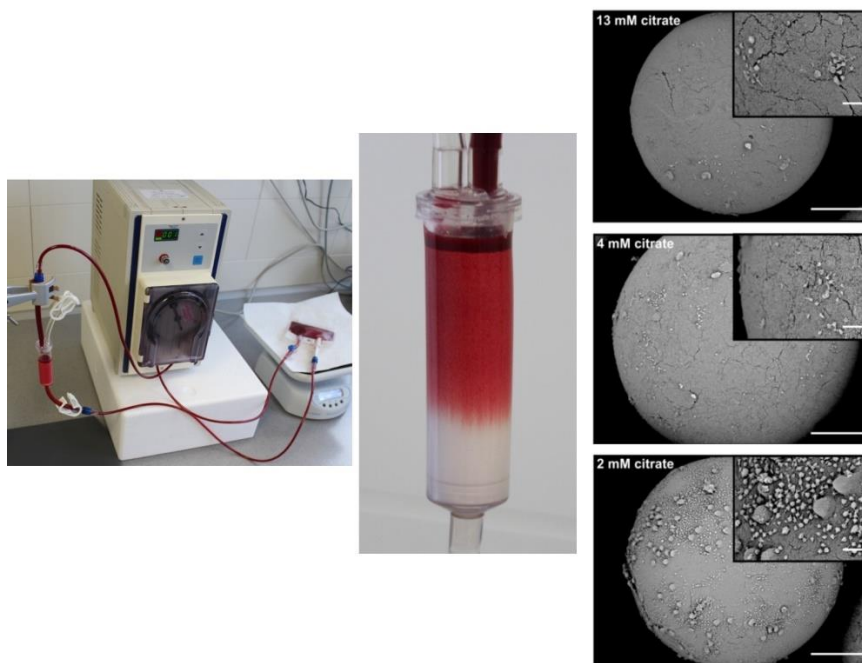


Abb. 2: Untersuchung der Zelladhäsion an Adsorberpolymeren in Abhängigkeit von der Zitratkonzentration. Humanes Vollblut wurde in diesem Versuchsaufbau über ein Adsorberpolymer rezirkuliert und die Adhäsion und Aktivierung von Thrombozyten und Leukozyten elektronenmikroskopisch untersucht. Zitrat, das in extrakorporalen Verfahren als Gerinnungshemmer zum Einsatz kommt, unterdrückt konzentrationsabhängig die Aktivierung und Anheftung von zellulären Bestandteilen aus dem Blut und führt daher zu einer verbesserten Bioverträglichkeit.

Extrazelluläre Vesikel als Signalüberträger zwischen Zellen

Es war nun bereits in Zusammenhang mit der Gerinnungsaktivierung an Biomaterialoberflächen, aber auch mit der Vermittlung der Komplementaktivierung von extrazellulären Vesikeln die Rede. Dabei handelt es sich um eine heterogene Gruppe von Vesikeln im Größenbereich von etwa 30 bis 5000 nm, die von einer Membrandoppelschicht umgeben sind (Abbildung 3).

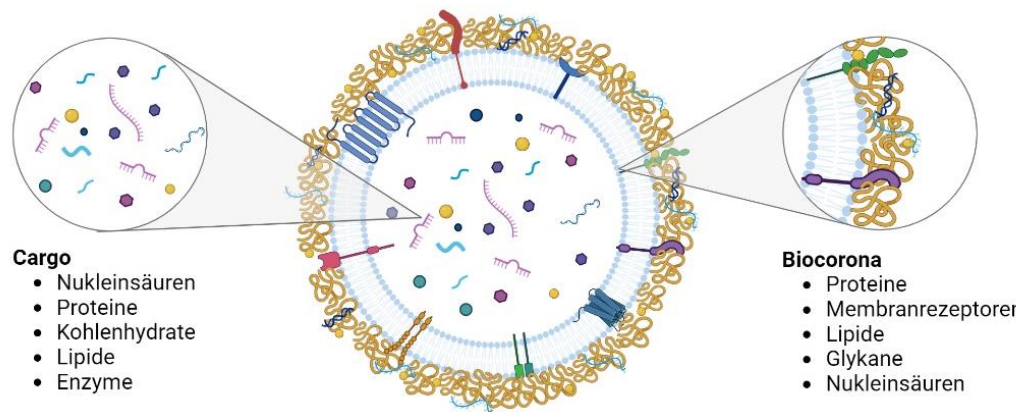


Abb. 3: Extrazelluläre Vesikel. Diese heterogene Gruppe submikroskopischer Vesikel im Blut ist von einer Lipiddoppelschicht umschlossen. An der Oberfläche tragen die Vesikel Moleküle, die als Marker für ihre zelluläre Herkunft dienen können. Vesikel transportieren ihre molekulare Fracht einerseits in ihrem Inneren, andererseits sind sie in biologischen Flüssigkeiten mit einer „Bio-Corona“ assoziiert, deren Zusammensetzung sich dynamisch verändert.

Diese Vesikel werden sowohl unter physiologischen als auch unter pathologischen Bedingungen von Zellen freigesetzt und wurden in allen Körperflüssigkeiten nachgewiesen. Bereits in den 1960er Jahren wurde beobachtet, dass Blutplättchen nach ihrer Aktivierung submikroskopisch kleine Partikel ins Blut abgeben. Diesen Partikeln wurde allerdings zunächst keine wesentliche biologische Bedeutung zugeschrieben, weshalb man sie auch als „Plättchenstaub“ bezeichnete (vgl. Wolf 1967). Ab Mitte der 1990er Jahre wurde ihre Bedeutung für die Informationsübertragung zwischen Zellen und ihr Anwendungspotential für Diagnostik und Therapie zunehmend erkannt. Im Jahr 2013 schließlich wurden James Rothman, Thomas Südhof und Randy Shekman für die Beschreibung des vesikulären Transports mit dem Nobelpreis für Medizin und Physiologie ausgezeichnet.

Die molekulare Fracht („Cargo“) extrazellulärer Vesikel besteht aus verschiedenen Biomolekülen. Die Beladung extrazellulärer Vesikel mit funktionellen Molekülen erfolgt gezielt, wobei die zugrundeliegenden Mechanismen noch nicht völlig geklärt sind. Darüber hinaus tragen extrazelluläre Vesikel Biomoleküle an ihrer Oberfläche, mit denen sie mit ihrer Umgebung interagieren. In Analogie zur weiter oben beschriebenen Protein-Corona auf Biomaterialien wird diese Schicht als „Bio-Corona“ bezeichnet. Es gibt Hinweise darauf, dass Proteine durch die Bindung an Vesikeloberflächen ihre Konformation und damit auch ihre funktionellen Eigenschaften ändern können. Eine wesentliche biologische Funktion extrazellulärer Vesikel ist die Aufrechterhaltung eines biologischen Gleichgewichtszustandes (Homöostase) auf zellulärer Ebene durch die Weitergabe ihrer Fracht an benachbarte oder an weiter entfernte Zellen. Andererseits tragen sie zum Krankheitsgeschehen, insbesondere bei thrombotischen Komplikationen bei, wie etwa in der Sepsis und im Verlauf von COVID-19 („Immunthrombose“).

An der Grenzfläche von Blut und Biomaterialien sind extrazelluläre Vesikel einerseits als Marker für die Aktivierung von Zellen von Interesse (z.B. Freisetzung von Vesikeln im Zuge der Plättchenaktivierung), aber auch auf Grund ihrer gerinnungsfördernden Eigenschaften.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Reaktionen an der Grenzfläche von Blut und Biomaterialien sind hochkomplex und umfassen verschiedene interaktive zelluläre und molekulare Mechanismen.

Derzeit gängige Methoden zur Untersuchung der Bioverträglichkeit beruhen in erster Linie auf der Messung der Aktivierung verschiedener Stoffwechselwege (Gerinnung, Komplement), messen also systemische Auswirkungen einer lokalen Interaktion. Dies bildet die Vorgänge an der Grenzfläche von Blut und Biomaterialien jedoch nur unzureichend ab. Neue analytische Verfahren auf dem Gebiet der Massenspektrometrie („proteomics“) können lokalisierte Veränderungen an der Schnittstelle zwischen Blut und Biomaterial zu messen und somit zu einem besseren Verständnis der Bioverträglichkeit führen. Zusätzlich zur Identifizierung von Proteinsignaturen auf Biomaterialien können diese Verfahren Informationen über die unterschiedliche Zusammensetzung der Corona an der Materialoberfläche liefern und die Entwicklung innovativer Biomaterialien unterstützen.

Bibliographie

- Aird, William C. (2007): Phenotypic heterogeneity of the endothelium: I. Structure, function, and mechanisms. *Circulation Research* 100(2), 158-173. <https://doi.org/10.1161/01.RES.0000255691.76142.4a>.
- Gawaz, M. P. / Mujais, S. K. / Schmidt, B. / Gurland, H. J. (1994): Platelet-leukocyte aggregation during hemodialysis. *Kidney International* 46(2), 489-495. <https://doi.org/10.1038/ki.1994.299>.
- Karasu, Ebru / Eisenhardt, Steffen U. / Harant, Julia / Huber-Lang, Markus (2018): Extracellular vesicles: Packages sent with complement. *Frontiers in Immunology* 9721. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00721>.
- Kizhakkedathu, J. N. / Conway, E. M. (2022): Biomaterial and cellular implants: foreign surfaces where immunity and coagulation meet. *Blood* 139(13), 1987-1998. <https://doi.org/10.1182/blood.2020007209>.
- Klinkmann, H. / Wolf, H. / Schmitt, E. (1984): Definition of biocompatibility. *Contributions to Nephrology* 37, 3770-3777. <https://doi.org/10.1159/000408553>.
- Poppelaars, Felix / Faria, Bernado / Garya da Costa, Mariana / Franssen, Casper F. M. / van Son, Willem J. / Berger, Stefan P. / Daha, Mohamed R. / Seelen, Marc A. (2018): The complement system in dialysis: A forgotten story? *Frontiers in Immunology* 971. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00071>.
- Vroman, L. (1962). Effect of absorbed proteins on the wettability of hydrophilic and hydrophobic solids. *Nature* 196476-7. <https://doi.org/10.1038/196476a0>.
- Williams, David F. (2008): On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials* 29(20), 2941-2953. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.04.023>.
- Wolf, Peter (1967): The nature and significance of platelet products in human plasma. *British Journal of Haematology* 13(3), 269-288. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.1967.tb08741.x>.

E-Mail-Adresse der Verfasserin: viktoria.weber@donau-uni.ac.at



Entropie als Kriterium für Nachhaltigkeit – CO₂-Endlagerung bzw. -Nutzung (CCS/CCU) nicht nachhaltig

Bernhard Wessling (Jersbek)

Veröffentlicht: 20. März 2024

Abstract

The principles of non-equilibrium thermodynamics are briefly discussed, with a focus on entropy. For the first time, the energy consumption and entropy production of CO₂ final storage and utilization (CCS and CCU) are quantitatively investigated and interpreted. This shows that final storage and chemical use of CO₂ are not sustainable processes for solving the climate crisis. Building on this, a new proposal for a quantitative criterion for sustainability is presented: Entropy.

Resümee

Die Grundsätze der Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik werden kurz besprochen, wobei der Schwerpunkt auf der Entropie liegt. Erstmals werden der Energieverbrauch und die Entropieproduktion der CO₂-Endlagerung und der -Nutzung (CCS bzw. CCU) quantitativ untersucht und interpretiert. Damit wird gezeigt, dass Endlagerung bzw. chemische Nutzung von CO₂ keine nachhaltigen Prozesse zur Lösung der Klimakrise sind. Darauf aufbauend wird ein neuer Vorschlag für ein quantitatives Kriterium für Nachhaltigkeit dargestellt: Entropie.

Keywords/Schlüsselwörter

Non-equilibrium thermodynamics, entropy, sustainability, climate change mitigation, carbon capture, CCS, carbon utilization, CCU

Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik, Entropie, Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Kohlenstoffabscheidung, CCS, Kohlenstoffnutzung, CCU

1 Einführung

In der weltweiten Diskussion über nachhaltiges Ressourcenmanagement, sei es im Zusammenhang mit der biologischen Vielfalt oder der Klimakrise, spielt die Thermodynamik fast keine Rolle, und noch weniger die Nichtgleichgewichtsthermodynamik. Während die letztgenannte Thermodynamik und die „Entropie“ nur sehr selten in Büchern und Abhandlungen über Umweltthemen erklärt und erwähnt werden (z.B. in dem Buch „A New Ecology Systems Perspective“ (Nielsen und Plath 2020), das die Prinzipien der Entwicklung und des Funktionierens von Ökosystemen aufzeigt), wird sie bisher nicht für die Bewertung der Nachhaltigkeit bestimmter technologischer Ökosystemmanagement- oder Klimaschutzmaßnahmen verwendet. Hier werden einige erste (auch quantitative) Versuche zur Überbrückung dieser Lücke vorgestellt. Nach einem Blick auf einige Schlüsselprinzipien der Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik werden wir

einige erste Schritte hin zu einer quantitativen Analyse des Energiebedarfs und der Entropieproduktion von CCS- und CCU-Prozessen entwickeln.

2 Kurzer Überblick: Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik und dissipative Strukturen

Die Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik wurde grundlegend von Ilya Prigogine entwickelt, wofür er 1977 den Nobelpreis erhielt (Nobel Prize Committee 1977). Er beschrieb zum ersten Mal die Selbstorganisation zu komplexen Strukturen: „dissipative Strukturen“. „Dissipativ“ deshalb, weil offene Systeme aufgrund eines überkritischen Energieinputs weit vom Gleichgewicht entfernt sind und den Energiefluss nicht anders kompensieren („dissipieren“) können als durch die Bildung komplexer Strukturen, was mit einem starken Entropieexport in die Umgebung außerhalb des offenen Systems verbunden ist.

Besonders anschaulich wird dies bei der Betrachtung von Bénard-Zellen (Abb. 1). Diese bilden sich, sobald man eine mit Öl gefüllte Glasschale (zur besseren Sichtbarkeit enthält sie feine Metallspäne) von unten erhitzt und die Wärmezufuhr langsam erhöht. Wird eine charakteristische Wärmezufuhr überschritten, bilden sich plötzlich 5- und 6-eckige Zellen, weil das Öl die überkritische Wärme nicht anders abführen (*dissipieren*) kann: Die Zellen wälzen sich synchron ab, wodurch die überschüssige Wärme effektiv abgeführt wird.



Abb. 1: Bénard-Zellen (Universität Freiburg 2024)

Prigogine untersuchte insbesondere auch zyklische Reaktionen, darunter die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion. Diese Reaktion bildet immer wieder komplexe Muster, die im Detail jedes Mal anders aussehen (Abb. 2).



Abb. 2: Screenshot eines Videos, das den Ablauf der Belousov-Zhabotinsky-Reaktion zeigt (Morris 2009)

Prigogine zufolge ist dies darauf zurückzuführen, dass ein überkritischer Energieeintrag ein offenes System in einen Zustand fernab des Gleichgewichts zwingt und Entropie exportiert. Und dies ist der entscheidende Punkt, der das herkömmliche, auf der klassischen Gleichgewichtsthermodynamik basierende Verständnis grundlegend erweitert:

Während im Maßstab des gesamten Universums die Entropie ständig zunimmt und nur zunehmen kann (2. Hauptsatz der Thermodynamik), ist dies in einem offenen System nicht (unbedingt) der Fall. Aus diesen kann Entropie exportiert werden, sie wird also verringert - und ein höherer Ordnungsgrad ist nach Boltzmanns statistischer Interpretation identisch mit einem geringeren Entropiegehalt.¹ Je niedriger die Entropie, desto komplexer die

¹ In einigen Abhandlungen und Büchern wird anstelle des Begriffs „Entropieexport“ der Begriff „negative Entropie“ verwendet; er wurde ursprünglich von Erwin Schrödinger eingeführt, als er schrieb: „Lebende Materie entzieht sich dem Zerfall zum Gleichgewicht. Sie ernährt sich von 'negativer Entropie'“ und verwendet diesen Begriff mehrfach, auch wenn er sagt, dass ein Organismus nur am Leben bleiben kann, indem er „seiner Umgebung [negative Entropie] entzieht“ (E. Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell; With Mind and Matter; & Autobiographical Sketches*; Cambridge University Press 1944.). Ich bevorzuge den Ausdruck „Entropieexport“, der später von Ilya Prigogine eingeführt wurde, denn in Wirklichkeit entsteht Entropie bei den verschiedenen Prozessen *innerhalb* eines offenen Systems wie einem Organismus (d.h., in den Zellen dieses Organismus) und würde sich dort ansammeln, wenn sie nicht exportiert würde; exportiert durch die Abstrahlung von Niedertemperaturwärme und durch den „Export“ von Abfallstoffen; „Abfall“ bedeutet „nicht nützlich für die genannten Zellprozesse“, wie Sauerstoff im Falle der Photosynthese von Pflanzen, CO₂ im Falle der Atmung von Tieren, auch Hautschuppen, Urin oder Kot.

Ordnung: Ein regelmäßiger Kristall hat eine höhere Entropie als eine Eichenkrone, weil in beliebig kleinen oder beliebig großen benachbarten Volumensegmenten, die zu vergleichen sind, die Systemelemente (hier: die Zellen, die Äste und Rinde bilden) alle an einem anderen Ort sind.

Der Grund dafür ist die Tatsache, dass in allen solchen Nicht-Gleichgewichtssystemen Prozesse ablaufen, die mit nichtlinearen Gleichungen beschrieben werden; und diese Prozesse stehen auch untereinander in Wechselwirkung, was dazu führt, dass sich das ganze System extrem nichtlinear verhält. Mit anderen Worten: Es ist im Prinzip nicht vorhersehbar, wie sich die nichtlinearen Prozesse, die sich noch gegenseitig beeinflussen, letztendlich verhalten werden. Das führt dazu, dass im Laufe der Zeit, während eine überkritische Menge an Energie (und möglicherweise auch Materie) in das offene System fließt, immer wieder „Bifurkationen“ (wie Prigogine es nannte) (also „Verzweigungen“) auftreten: Das System kann unvorhersehbar plötzlich einen anderen Verlauf nehmen.

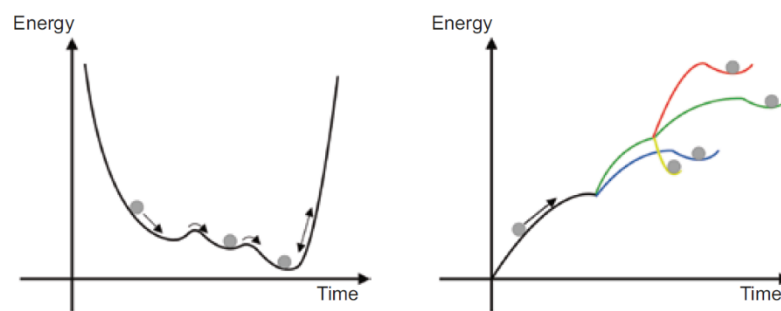


Abb. 3: Hier wird schematisch der prinzipiell unterschiedlichen Verlauf von reversiblen Prozessen gezeigt, die zu einem Gleichgewichtszustand führen (links), bzw. in einem Nicht-Gleichgewichtssystem (rechts) mit irreversiblen Prozessen.

Die (freie) Energie im Gleichgewicht tendiert zu einem Minimum, und entsprechende Prozesse treten spontan auf, sind reversibel, und die Entropie erreicht ein Maximum. Ganz anders bei Nicht-Gleichgewichtszuständen: Der Energiezufluss ist mehr oder weniger kontinuierlich, die Entropie erreicht niedrigere Werte, und nach einigen Bifurkationsereignissen können relativ stabile Zustände erreicht werden, die aber meist dem Zerfall unterliegen, wenn sie nicht durch weiteren Energiezufluss stabilisiert werden, Prozesse und dissipative Strukturbildung sind irreversibel. Allerdings führt der ggf. stattfindende Zerfall nicht zu einem Zustand, der mit dem Beginn der Prozessfolge identisch ist, das ist unmöglich.

Wir wissen das vom Leben, aber es wird oft übersehen, dass „Leben“ (z.B. Organismen und Ökosysteme), aber auch unbelebte dynamische Systeme wie Flüsse, Wetter oder Galaxien, nicht durch Gleichgewichts-, sondern nur durch Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik beschrieben werden können: Aus offenen dynamischen Systemen wird ständig Entropie exportiert (letztlich ins Universum, dort vermutlich in Schwarze Löcher), und die Prozesse verhalten sich nichtlinear und interagieren auch noch nichtlinear miteinander. Komplexität und Zufall sind also sehr eng miteinander verbunden. Nicht-Gleichgewicht ist das, was uns am Leben erhält, „Gleichgewicht ist Zerfall und Tod“.²

² Im Original lautet das Zitat: „Biologisch gesehen ist das Leben nicht die Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung des Gleichgewichts, sondern im Wesentlichen die Aufrechterhaltung von Ungleichgewichten, wie

3 Ist das für uns relevant? Ja, nicht nur, aber auch als Kriterium für Nachhaltigkeit

Einige mögen denken, dass dies eher theoretische Überlegungen sind und dass „Entropie bestenfalls für eine akademische Diskussion interessant ist“ (was ich gelegentlich als Antwort bekomme). Dem muss entschieden widersprochen werden. Im Grunde genommen ist Prigogines Thermodynamik ein weiterer Pfeiler für das Verständnis unserer Welt, gleichrangig mit der Relativitätstheorie, der Quantenphysik oder der Evolutionstheorie. Sie wird aber gar nicht so wahrgenommen, sie ist an den Universitäten schon fast nicht mehr präsent, sie wird in Thermodynamik-Lehrbüchern auf kaum mehr als 20 Seiten nur sehr kurz behandelt, während die Gleichgewichtsthermodynamik auf den übrigen 900 Seiten steht. Und das, obwohl es in der Realität, abgesehen z. B. von Zuckerwasser und mit Wasser verdünntem Alkohol, kaum Gleichgewichtssysteme und -prozesse gibt, sondern die überwiegende Mehrheit Nicht-Gleichgewichtssysteme und -prozesse sind: Wetter, Klima, Leben, Ökosysteme, Wirtschaft, um nur einige zu nennen. In der chemischen Forschung und in der industriellen Praxis finden ausschließlich Nicht-Gleichgewichtsprozesse statt. Im Gegensatz zu den anderen drei grundlegend wichtigen Theoriegebäuden ist die Nichtgleichgewichtsthermodynamik auch kein Thema im Schulunterricht. Und während man, wenn man etwas über Relativitätstheorie, Quanten oder Evolution lernen will, eine ausreichende Anzahl populärwissenschaftlicher Bücher und Artikel für unterschiedliche Vorbildungsniveaus finden kann, wird man bei der Suche nach leicht verständlichen Büchern oder Artikeln über Nichtgleichgewichtsthermodynamik oder Entropie fast vollständig scheitern.³

Unsere sprachlichen Bilder haben sich dementsprechend auch nicht weiterentwickelt: Ständig beklagen wir, dass etwas „aus dem Gleichgewicht“ ist (und wünschen uns, dass es wieder ins Gleichgewicht gebracht wird, als ob es das jemals gegeben hätte): Ökosysteme, das Klima, Wechselkurse, die Wirtschaft und das Finanzsystem im Allgemeinen. Und das Grundgesetz verlangt, dass „den Erfordernissen des gesamtwirtschaftlichen Gleichgewichts“ Rechnung getragen wird.⁴ Überraschenderweise ist das sogenannte „Gleichgewicht“ aber nur dann gewahrt, wenn die Wirtschaft wächst; selbst bei Stagnation, also Nullwachstum, gilt die Gleichgewichtsbedingung als nicht mehr erfüllt. In Wirklichkeit ist die Wirtschaft ein komplexes Nicht-Gleichgewichtssystem und war noch nie im Gleichgewicht (wenn sie im Gleichgewicht wäre, würde nichts passieren).

Die Tatsache, dass die Welt mit uns nur deshalb existiert, weil sich glücklicherweise NICHT alles im Gleichgewicht befindet, sondern sich in mehr oder weniger stabilen dynamischen Prozessen fernab des Gleichgewichts bewegt, ist weitgehend unbekannt. Auch die Bedeutung und die Rolle der Entropie wird überwiegend nicht verstanden.

die Lehre vom Organismus als offenem System zeigt. Das Erreichen des Gleichgewichts bedeutet Tod und konsequenten Zerfall“ (Ludwig von Bertalanffy 1968). Bertalanffy ist der Schöpfer des Begriffs „Fließgleichgewicht“, das überhaupt kein Gleichgewicht ist, sondern ein Nicht-Gleichgewichtssystem, wie er ja selbst schrieb.

³ Das Buch „Was für ein Zufall! Über Unvorhersehbarkeit, Komplexität und das Wesen der Zeit“ (Weßling 2023) ist ein erster Versuch, diese Lücke in einer sehr leicht verständlichen und erzählerischen Form zu füllen.

⁴ Art. 109, Abs. 2 des Grundgesetzes lautet (vom Autor übersetzt und hervorgehoben): „Bund und Länder erfüllen gemeinsam die sich aus Rechtsakten der Europäischen Gemeinschaft auf Grund des Artikels 104 des Vertrages zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft ergebenden Verpflichtungen der Bundesrepublik Deutschland zur Einhaltung der Haushaltsdisziplin und tragen in diesem Rahmen den *Erfordernissen des gesamtwirtschaftlichen Gleichgewichts Rechnung.*“

In der aktuellen Klimadebatte gibt es immer mehr Veröffentlichungen in verschiedenen Medien über Verfahren, mit denen CO₂ aus der Atmosphäre entfernt und entweder in tiefen Erdschichten gespeichert oder in chemischen Prozessen genutzt werden kann (Zhao 2023 und Wikipedia). Investoren und Politiker befassen sich ernsthaft damit, ein krasses Beispiel sind die „E-Fuels“ (eFuel-Today 2024).

Über die verschiedenen technologischen Versuche wird keineswegs kritiklos berichtet, sondern die Diskussion beschränkt sich auf Risiken (Lane 2021) und Kosten. Der Energiebedarf wird oft unkommentiert erwähnt, wenn überhaupt; die Thermodynamik und insbesondere die Entropie werden nicht berücksichtigt, weder von Journalisten noch offenbar von den Betreibern, Investoren und Politikern, die über die zu ergreifenden Klimaschutzmaßnahmen entscheiden. Wann immer erwähnt wird, dass der Energiebedarf für CCS oder CCU beträchtlich ist (allerdings ohne ihn mit dem Energiebedarf bzw. Energiegehalt alternativer Verfahren oder Materialien zu vergleichen), vertrösten die Autoren die Leser mit dem Hinweis, dass „erneuerbare Energien“ dafür bereitgestellt würden: Aber weder haben wir unendlich viel davon, noch können wir sie kostenlos ernten (sondern brauchen Rohstoffe, Platz, Wasser ..., und Euros), und diese Energieumwandlung erzeugt auch eine Menge Entropie.

3.1 Erste Bewertung: Nachhaltigkeit der CO₂ Endlagerung?

Im Folgenden wird zunächst geprüft, ob die Endlagerung von CO₂ nachhaltig sein kann. Es wird viel damit geworben, dass die Endlagerung DAS Allheilmittel gegen den Klimawandel sei. Des Weiteren werden wir uns mit Vorschlägen zur Verwertung von CO₂, d.h. der Umwandlung von CO₂ in nützliche Rohstoffe, beschäftigen (Abschnitt 3.2).

3.1.1. Energieschätzung der Endlagerung

Wir vergleichen die Bildungsenthalpie von CO₂ mit der Energie, die benötigt wird, um das Gas aufzufangen und in tieferen Erdschichten als CaCO₃ zu speichern: 1 Tonne CO₂ enthält 22.727 Mol CO₂ entspricht -8,9 Millionen kJ Bildungsenthalpie (molar -393) (Sellnacht Lexikon), von denen wir weniger als ein Drittel (d.h. etwa 2,5 Millionen kJ) als verfügbare elektrische Energie nutzen konnten, der Rest war Abwärme und Entropie.

M. Fasahi et al. Veröffentlichten eine technisch-wirtschaftliche Bewertung von Anlagen zur direkten Lufterfassung (Fasahi 2019). Wie aus ihrer Tabelle 1 hervorgeht, liegt der Gesamtwärmebedarf laut Literatur und je nach Grad der Wärmeintegration im Bereich von 1420–2250 kWh (thermisch) pro Tonne CO₂. Die erforderliche elektrische Leistung wird mit 366–764 kWh pro Tonne CO₂ angegeben. Im Folgenden werden 2000 kWh_{th} und 600 kWh_{el} als Grundlage der weiteren Betrachtungen verwendet. In der Größenordnung dieser Werte finden sich auch in verschiedenen Publikationen ähnliche Werte.

Die benötigte Wärme entspricht 7,2 Mio. kJ (fast so viel wie die CO₂-Bildungsenthalpie), wird aber nicht mit 100%iger Effizienz bereitgestellt; wenn sie mit 80%iger Effizienz bereitgestellt werden kann, muss man mit 9 Mio. kJ Primärenergie beginnen, die somit der Bildungsenthalpie entspricht. Darüber hinaus entspricht die benötigte Elektrizität 2,16 Mio. kJ; bei einem weltweit durchschnittlichen Wirkungsgrad von 31 % der Kohlekraftwerke (EURACTIV) müssen 7 Mio. kJ Primärenergie bereitgestellt werden, die auch verbraucht wird.

Insgesamt sind 16 Mio. kJ erforderlich, was fast doppelt so viel ist wie die CO₂ Bildungsenergie, also ist der Energieeinsatz etwa viermal so hoch wie die Menge an Exergie (die verfügbare nutzbare Energie), die zur Bildung dieser besagten 1 Tonne CO₂ geführt hat.

Das Argument, dass man regenerative Energie aus den heißen vulkanischen Tiefen Islands oder Solarzellenanlagen in der Wüste nutzt, zieht nicht, denn man könnte einfach

Strom daraus machen und ihn mit hohem Wirkungsgrad nutzen (was in Island z.B. auch für die Aluminiumproduktion gemacht wird). Es ist also reine Energieverschwendung und in der Folge massive Entropiezunahme, während wir noch lange nicht genug erneuerbare Energie haben.

3.1.2. Entropiebilanz der Endlagerung

Für die Entropiebetrachtung betrachten wir zunächst die Entropie der Atmosphäre, die etwa 0,06% (Gewichtsprozent) CO₂ enthält. Da wir oben von 1 Tonne CO₂ ausgegangen sind, bedeutet dies, dass wir ein Gemisch aus CO₂ mit etwa 16,7 Tonnen anderer Bestandteile der Luft (Stickstoff und Sauerstoff und andere Bestandteile wie Wasser, Spurengase usw.) betrachten müssen (die eine CCS-Anlage ja alle durch die Filtersysteme zieht).

Die Entropie S der CO₂-haltigen Luft wird annähernd nach der Formel für die Mischungsentropie berechnet (vereinfacht für ideale Gase und geschlossene Systeme, die wir auch nicht haben, aber es reicht, diese Vereinfachungen anzunehmen, Universität Ulm):

$$S = kN_1 \ln \frac{N_1 + N_2}{N_1} + kN_2 \ln \frac{N_1 + N_2}{N_2}$$

Wir haben etwa 22.727 Mol CO₂ (= 1 Tonne) in der Luft, gemischt mit etwa 380.000 Mol anderer Luftbestandteile, wenn sie das gleiche Molekulargewicht wie CO₂ hätten. Das Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff hat jedoch ein geringeres Molekulargewicht, so dass wir in 100 Gew.-% Luft (die 1 Tonne CO₂ enthält) etwa $380.000 \cdot 1,5 = 570.000$ Mol anderer Luftbestandteile haben.

1 Mol enthält etwa $2 \cdot 10^{23}$ Moleküle (das ist die Definition von „Mol“). Wir setzen diese Werte in die obige Formel ein und erhalten (mit der Boltzmann-Konstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$) $2,76 \cdot 22,727 \cdot \ln((N + N_{\text{CO}_2 \text{ air}}) / N_{\text{CO}_2}) + 2,76 \cdot 570,000 \cdot \ln((N + N_{\text{CO}_2 \text{ air}}) / N_{\text{air}}) = 2,76 \cdot 22,727 \cdot 3,26 + 2,76 \cdot 570,000 \cdot 0,039 = 265.843 \text{ J/K}$

Da wir 1 Tonne CO₂ aus der Luft herausfiltern wollen, die diesen extrem hohen Entropiewert hat, müssen wir die Entropie der Atmosphäre um 265.843 J/K vermindern (allerdings bei Umgebungstemperatur, also etwa 293 K), denn wenn wir reines CO₂ außerhalb der Atmosphäre erhalten, ist seine Mischungsentropie Null. (Die Mischungsentropie der übrigen Atmosphärenbestandteile bleibt unverändert.)

Wie die Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik uns zeigt, kann Entropieabnahme in einem offenen System (hier: Atmosphäre) nur erreicht werden, wenn viel Energie investiert wird (wir haben bereits gesehen, wieviel benötigt wird: *extrem* viel). Die Abnahme der Entropie (d.h.: der Export von Entropie) verursacht (aufgrund des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik) eine Zunahme der Entropie außerhalb jeder CCS-Anlage, und zwar zusätzlich zu der Entropiezunahme im Zusammenhang mit der Umwandlung und Bereitstellung der Prozessenergie.

Daran ändert auch das Argument nichts, dass es sich um regenerative Energieumwandlung handelt, die für CCS genutzt werden soll. Zu der Frage, ob wir tatsächlich einen Energieüberschuss aus regenerativen Quellen (Wind und Sonne) haben, der es uns erlauben könnte, ihn verschwenderisch zu nutzen, habe ich oben argumentiert: Wir haben ihn nicht.

Darüber hinaus sollten wir aber auch die Entropie berücksichtigen: Die statistische Interpretation der Entropie ist wohlbekannt; sie besagt, dass in einem System, in dem die Entropie zunimmt, auch die Unordnung zunimmt.

Wir verursachen eine zweifache Entropiezunahme, indem wir die Entropie des Gemischs aus der absorbierten Luft exportieren (nach außen) und indem wir die

Prozessenergie bereitstellen. Also wird irgendwo auf der Erde die Unordnung zunehmen, Unordnung ist Abnahme der Komplexität. Das merken wir dann dort, wo wir die Rohstoffe für die Herstellung der Geräte (mit deren Hilfe wir die Energie bereitstellen) gewinnen und wo wir sie zu den Geräten verarbeiten: Silizium usw. für Solarzellen mit allem elektrischen, elektronischen und mechanischen Drum und Dran, Lithiumabbau für Batterien, Wasser (große Mengen Brauchwasser für die Endlagerung), Zement für Windkraft, Stromnetze und so weiter. Für all dies wird Land benötigt, das für die biologische Vielfalt nicht mehr zur Verfügung steht. Die Verschlechterung der biologischen Vielfalt ist ein Indikator für die Zunahme der Entropie, die „Entropieverschmutzung“.

Ein weiterer Aspekt muss ebenfalls berücksichtigt werden, nämlich die Größenordnungen, mit denen wir umgehen müssen. Niall Mac Dowell et al. analysierten „die Rolle der CO₂ Abscheidung und Nutzung bei der Abschwächung des Klimawandels“ (Titel ihrer Arbeit, aus dem Englischen übersetzt) (MacDowell 2017). Sie zeigten anhand des Volumens von CO₂, das in tiefe Erdspeicher gepresst werden müsste, dass diese 1,033 Milliarden Barrel (MMbbl) CO₂ pro Tag betragen müssten, wenn nur die weltweite CO₂-Tagesproduktion aufgefangen werden müsste. Die derzeitige weltweite Ölproduktion wird mit 87 bis 91 MMbbl pro Tag angegeben. Dann schreiben sie: „Das bedeutet, dass die weltweite CO₂-Produktion [wenn man das Volumen betrachtet] heute etwa um den Faktor 10 größer ist als die weltweite Ölproduktion und bei den derzeitigen Wachstumsraten im Jahr 2050 sogar um den Faktor 20 größer sein könnte.“ Dies würde bedeuten, so heißt es weiter, dass bis 2050 eine Industrie aufgebaut werden müsste, „die wesentlich größer ist als die globale Ölindustrie“ [innerhalb von nunmehr nur 25 Jahren], während der Umfang der heutigen globalen Ölindustrie innerhalb eines ganzen Jahrhunderts aufgebaut wurde. (Eine Analyse des Energiebedarfs solcher Technologien wurde von den Autoren nicht vorgenommen.)

3.2. Umwandlung von CO₂ in nützliche Rohstoffe?

In einem Artikel in einem deutschen Wissenschaftsmagazin wurde eine Reihe von Verfahren vorgestellt, die derzeit erforscht oder entwickelt und zumindest im Labor-, teilweise auch schon im Pilotmaßstab getestet werden (Frick 2023).

CO₂, das sehr träge ist, werde „bald“ ein wertvoller Rohstoff sein; es wird der Eindruck erweckt, es brauche nur ein paar technische Optimierungen und ein paar weniger kostenbewusste Kunden, und CO₂ könne der Atmosphäre entzogen und massenhaft als Rohstoff genutzt werden. Und dann würde die Wirtschaft „nachhaltig“ werden.

(Die drastisch ungünstige Energie- und Entropiebilanz bei der Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre wurde bereits in 3.1 aufgezeigt).

Der Aspekt der Wirtschaftlichkeit wurde erwähnt, auch als Beispiel, dass Covestra die Polyolproduktion mit CO₂ als Rohstoff u.a. wegen Nachhaltigkeitsaspekten eingestellt habe, aber, so der Autor, man brauche nur „Kunden, die einen Aufpreis akzeptieren, um im Bereich der Nachhaltigkeit zu punkten“. Es wurde nicht dargelegt, welche Argumente Covestra dazu bewogen haben, das Produkt „aus Nachhaltigkeitsgründen“ einzustellen.

Deshalb wollen wir uns nun genauer ansehen, was diese Gründe sein könnten. Dabei gehen wir nicht auf die einzelnen Reaktionen / Prozesse ein, die in dem oben genannten Artikel beschrieben werden, sondern nehmen eine ganz einfache Reaktion, wie sie von Prof. Benjamin List (Nobelpreisträger „Organische Katalyse“) im ZEIT-Magazin vom 11. 5. 2023 in Form einer Frage und einiger Erläuterungen vorgestellt wurde. Das Magazin hatte 12 namhafte Wissenschaftler nach den „großen ungelösten Fragen auf ihrem Gebiet, auf die sie gerne eine Antwort hätten“ gefragt. Prof. List fragte: „Können wir den Klimawandel

aufhalten, indem wir Kohlendioxid in seine Bestandteile aufspalten²“ und den Kohlenstoff dann wieder als Kohle vergraben, zum Beispiel im Ruhrgebiet, sagte er.

Wenn wir CO₂ wieder in C und O₂ aufspalten wollen, müssen wir mindestens die 393 kJ/mol Bildungsenthalpie aufwenden, die bei der Reaktion von C und O₂ zur Bildung von CO₂ im Verbrennungsprozess freigesetzt wurden. „Mindestens“ deshalb, weil der Prozess der erneuten Spaltung auch einen Verlust an Effizienz (d. h. weitere Entropieerzeugung) mit sich bringt. Aufgrund des typischen Wirkungsgrads von Kraftwerken haben wir jedoch nur etwa die Hälfte der Bildungsenthalpie, etwa 200 kJ/mol, an Energie zur Verfügung, wenn wir CO₂ produzieren!

Selbst die Katalyse (das Spezialgebiet von Prof. List) kann diese Beziehung nicht ändern, denn ein geeigneter Katalysator kann die Reaktionsenthalpie nicht ändern, sondern nur die Aktivierungsenergie verringern und die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen.

Neben dem Aspekt der miserablen Energiebilanz gibt es auch den Aspekt der Entropie: Diese lässt sich durch den Vergleich der Standardentropiewerte der beteiligten Stoffe abschätzen: C: 6 J/K*^{mol}, O₂: 205 J/K*^{mol}; CO₂ 214 J/K*^{mol}¹⁴; d.h., wir reduzieren die Entropie von 214 auf 211 J/K*^{mol} (was außerhalb dieses Systems als Entropieerhöhung erscheint); das klingt nicht besonders dramatisch, aber es summiert sich zu der Entropieerhöhung, die für die Bereitstellung der Energie zur Aufspaltung von CO₂ in C und O₂ erforderlich ist. - Und pro Tonne CO₂ sind das schon beachtliche Beträge, nämlich fast 70.000 J/K, und wir haben es nicht mit einer Tonne CO₂ zu tun, sondern mit Milliarden und Abermilliarden von Tonnen, und das bei etwa 293 K (Umgebungstemperatur).

Wenn nun – wie im Artikel von Dr. Frick dargestellt – CO₂ mit H₂ umgewandelt werden soll, ist der Energiebedarf und die damit verbundene Entropieerhöhung der Wasserstoffproduktion hinzuzurechnen. Es wird nicht nachhaltiger, sondern nur umweltschädlicher, ökologisch sogar absurder. Denn es ist einfach so, dass CO₂ ein Indikator für großen Entropieanstieg ist - und Entropie kann nur gesenkt werden, wenn außerhalb des offenen Systems (in dem wir die Entropie senken) die Entropie übermäßig ansteigt. Wasserstoff ist nicht umsonst zu haben, weder in Bezug auf Energie noch auf Entropie. Er wird oft als „grüner Wasserstoff“ bezeichnet, wenn er mit regenerativen Energiequellen hergestellt wird. Die direkte Nutzung dieses Stroms (z. B. für den Antrieb von Elektroautos) ist jedoch wesentlich nachhaltiger als die Umwandlung von Wasser in Wasserstoff, die anschließende Umwandlung von CO₂ in „E-Fuels“ und deren Nutzung für den Antrieb von Autos mit Verbrennungsmotoren. Bei allen Schritten ist ein drastischer Effizienzverlust bei der Energienutzung zu berücksichtigen, der der Entropieproduktion entspricht. Das Gleiche gilt für jede Chemikalie, die aus CO₂ unter Verwendung von so genanntem „grünem“ Wasserstoff hergestellt wird.

Eine Metastudie über die Umweltaspekte der CO₂-basierten chemischen Produktion (Thonemann 2020) kommt zu dem Schluss, „dass es keine CO₂-basierte chemische Produktionstechnologie gibt, die in jeder IC [impact category, also 'Umweltauswirkungskategorie'] besser abschneidet als die konventionelle Produktionsalternative.“ Dies ist nicht überraschend, wenn man die Entropie betrachtet, denn Entropie ist ein Indikator für negative Umweltauswirkungen.

Während Mac Dowell et al. (2017) gezeigt haben, dass die Menge der benötigten Rohstoffe, selbst wenn es theoretisch möglich wäre, alle organischen Rohstoffe der chemischen Industrie irgendwie durch CO₂-basierte Chemikalien (erzeugt über CCU) zu ersetzen, „deutlich macht, wie vernachlässigbar der Beitrag von CCU zur globalen CO₂-Minderungsherausforderung sein wird“, folgern Kätelhön et al. (2019) außerdem, wie absurd ein solcher Ansatz wäre: „Die Ausschöpfung dieses Potenzials erfordert jedoch

mehr als 18,1 PWh kohlenstoffarmen Stroms, was 55 % der für 2030 prognostizierten globalen Stromerzeugung entspricht.“ Mit anderen Worten: Um (nur theoretisch gedacht!) bestenfalls 10 % der weltweiten jährlichen CO₂-Emissionen zu beseitigen, bräuchte die chemische Industrie 55 % der weltweiten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (wie für 2030 prognostiziert). Dies ist, wiederum mit anderen Worten, nichts anderes als eine Manifestation der Entropie.

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik, der besagt, dass die Entropie kontinuierlich zunimmt, kann auf globaler Ebene nicht außer Kraft gesetzt werden. Ebenso wenig können wir die Tatsache umgehen, dass wir, wenn wir die Entropie in einem bestimmten offenen System (z. B. in der Atmosphäre) verringern oder Materialien mit einem hohen Entropiegehalt (z. B. CO₂) verwenden wollen, eine enorme Menge an Energie investieren müssen, was zu enormen Mengen an Entropie im globalen Maßstab führt. Die Naturgesetze können nicht überwunden werden, indem man sie ignoriert.

4 Schlussfolgerungen

Aber das wird in der öffentlichen Diskussion überhaupt nicht berücksichtigt, auch nicht in der Wissenschaft. Allein die Mischungsentropie (die wir bei der Abtrennung der Gase aus der behandelten Luft „in die Umwelt“ exportieren müssen, d.h. bei der Abtrennung des CO₂ von den anderen Bestandteilen der Luft, weil CO₂-ärmere Luft weniger Entropie enthält) ist enorm.¹³ Darüber hinaus wird Entropie durch die Bereitstellung der erforderlichen Energie erzeugt. Das mag manchen sehr theoretisch erscheinen, ist es aber nicht: Verarmte Ökosysteme; lebensfeindliche Landschaften; durch Pestizide und Insektizide praktisch tot gemachte Ackerflächen mit, wenn überhaupt, nur einem Zentimeter Humus; Abwärme; Müllberge; verschmutzte Gewässer und Meere; Mikroplastik; Rückgang der Artenvielfalt (Vögel, Insekten!) und vieles mehr sind Zeichen von Entropie-„Verschmutzung“. Weder in Bezug auf Energie noch in Bezug auf Entropie ist die Entsorgung (Endlagerung) oder Nutzung von CO₂ nachhaltig.

Das Klima- und Biodiversitätsproblem kann nur gemeinsam gelöst werden. Es kann nicht erwartet werden, daß ein Artikel wie dieser ein Konzept für die Lösung dieses komplexen globalen Problems vorlegen kann. Aber es wird keine Lösung geben ohne den entscheidenden Beitrag der Photosynthese: in möglichst naturnahen, möglichst wild belassenen (oder renaturierten) Ökosystemen, mit weltweit praktizierter ökologischer Landwirtschaft (Schmitz 2023 und Buck-Wiese 2022). Technologie kann uns bei effizienten industriellen Prozessen helfen, nicht aber bei der CO₂-Abscheidung und -Endlagerung. Die chemische Umwandlung von CO₂ in nützliche Stoffe sollte den Pflanzen, Pilzen und Mikroben überlassen werden.

Wenn bisher von Nachhaltigkeit die Rede war und versucht wurde, sich quantitativen Kriterien zu nähern, beschränkte sich dies auf „1) Exergiebilanz 2) Verhältnis oder Anteil der erneuerbaren Energien, ausgedrückt als Exergien 3) Strukturkosten in Form von Exergie“.⁵ Die Entropie wird noch gar nicht berücksichtigt. Dies ist jedoch unvermeidlich, da auch (z. B.) erneuerbare Energie nicht zur Verfügung steht, ohne viel Entropie erzeugt zu haben.

Letztlich könnte allein die Entropie als Schlüsselkriterium für Nachhaltigkeit angesehen werden. Alle Prozesse, die der Mensch betreibt, sollten zusammen mit den natürlichen Produzenten in der Summe nicht mehr Entropie erzeugen, als die Erde abstrahlen kann (das sind etwa 230 W/m² der Erdoberfläche, Ebeling 2017). Davon sind wir weit entfernt,

⁵ Vgl. Nielsen 2020, S. 234; „Exergie“ wird als „für die Verrichtung von Arbeit nutzbare Energie“ verstanden

was bedeutet: Wir erzeugen viel mehr Entropie, als die Erde abstrahlen kann; folglich sammelt sich Entropie auf der Erde an - wo sonst könnte sie auch landen? Wir können uns also nur dann einem viel nachhaltigeren Niveau des Lebens und des Managements unserer Wirtschaft, unserer Landwirtschaft und unserer Ökosysteme nähern, wenn wir damit beginnen, die Analyse der Entropieerzeugung für unsere industriellen Produkte und Prozesse, einschließlich der landwirtschaftlichen Verfahren, einzuführen, einschließlich der Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels und zur Lösung der Biodiversitätskrise.

Bibliographie

- Bertalanffy, Ludwig von, in: „Allgemeine Systemtheorie, herausgegeben von George Braziller, N. Y. 1968, S. 191“.
- Buck-Wiese, Hagen; Andskog, Mona; Ngyen, Ngyen; Hehemann, Jan-Hendrik; „Furoid brown algae inject fucoïdan carbon into the ocean“, PNAS 120 (1) e2210561119 (2022), siehe <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2210561119> (20. 1. 2024)
- Ebeling, Werner; Feistel, Rainer; „Self-Organization in Nature and Society“, Konferenz „The Human World: Uncertainty as a Challenge“, Frolov Lectures 2017, abgerufen hier: https://www.researchgate.net/publication/316878591_Selbstorganisation_in_Natur_und_Gesellschaft_und_Strategien_zur_Gestaltung_der_Zukunft, siehe auch Feistel, R., Ebeling, W., „Physik der Selbstorganisation und Evolution“, Wiley-VCH 2011, S. 97/98.
- eFuel-Today <https://efuel-today.com/en/production-process-of-e-fuels/> (20. 1. 2024)
- EURACTIV: <https://www.euractiv.com/section/energy/opinion/analysis-efficiency-of-coal-fired-power-stations-evolution-and-prospects/>
- Fasihi, Mahdi; Efimova, Olga; Breyer, Christian; „Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants“, J. Cleaner Production, 224, S. 957-980, siehe <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307772> (20. 1. 2024)
- Frick, Frank, „Heute Übeltäter, morgen Held“, Bild der Wissenschaft Spezial: Rohstoffe (Sommer 2023), S. 78 ff.
- Kätelhön, Arne; Mays, Raoul, Deutz, Sarah; Bardow, André; „Climate change mitigation potential of carbon capture and utilization in the chemical industry“ PNAS 116 (23) 11187-11194 (2019), siehe <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1821029116> (20. 1. 2024)
- Lane, Joe; Greig, Chris; Garnett, Andrew, „Uncertain storage prospects create a conundrum for carbon capture and storage ambitions“ Nature Climate Change 11, 925–936 (2021) siehe <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01175-7> (20. 1. 2024)
- Mac Dowell, Nigel; Fennell, Paul; Shah, Nilay; Maitland, Geoffrey; „The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change“ Nature Climate Change 7, 243–249 (2017), siehe <https://www.nature.com/articles/nclimate3231> (20. 1. 2024)
- Morris, Stephen, 2009 Fotos und Videos zeigen eine typische Reaktionssequenz: <https://www.flickr.com/photos/nonlin/3572095252/in/album-72157623568997798/> (20. 1. 2024); Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Stephen Morris (Univ. of Toronto, Canada) und Mike Rogers.
- Nielsen, Soeren Nors., Fath, Brian., et al, A New Ecology Systems Perspective, 2nd edition, Elsevier Amsterdam, 2020
- Nobel Prize Committee <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1977/press-release/> (20. 1. 2024) mit Links zu weiteren Quellen
- Sellnacht Lexikon <https://www.seilnacht.com/Lexikon/dhtabell.htm> (20. 1. 2024)

Schmitz, Oswald et. al., „Trophic rewilding can expand natural climate solutions“, *Nature Climate Change* 13, 324–333 (2023), siehe <https://www.nature.com/articles/s41558-023-01631-6> (20. 1. 2024)

Thonemann, Nils, „Environmental impacts of CO₂-based chemical production: A systematic literature review and meta-analysis“, *Appl. Energy* 263, 114599 (2020), siehe <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261920301112> (20. 1. 2024)

Universität Freiburg <https://www.experimente.physik.uni-freiburg.de/Thermodynamik/waermeleitungundkonvektion/konvektion/> (20. 1. 2024) ;
Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Fakultät für Physik der Universität Freiburg.

Universität Ulm: <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/gk2-2007/node31.html> (20. 1. 2024)

Weßling, Bernhard, „Was für ein Zufall! Über Unvorhersehbarkeit, Komplexität und das Wesen der Zeit“, SpringerNature 2023

Zhao, Yong et al., „Conversion of CO₂ to multicarbon products in strong acid by controlling the catalyst microenvironment“, *Nature Synthesis* 2, 403–412 (2023), siehe <https://www.nature.com/articles/s44160-022-00234-x> (20. 1. 2024)
<https://actionaidrecycling.org.uk/carbon-capture-utilisation-and-storage-effects-on-climate-change/> (20. 1. 2024); für eine allgemeine Beschreibung siehe Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_storage (20. 1. 2024), oder <https://www.globalccsinstitute.com/> (20. 1. 2024),
https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_utilization (20. 1. 2024)

Danksagung

Der Autor ist Grégoire Nicolis (einem guten Freund von Ilya Prigogine, seinem Mitautor und Nachfolger auf dem Lehrstuhl an der Universität Brüssel) und Werner Ebeling (einem weiteren guten Freund von Ilya Prigogine) sehr dankbar, dass sie sich viel Zeit für eine sehr konstruktive Diskussion meiner speziellen thermodynamischen Nichtgleichgewichtstheorie für Dispersionen und Emulsionen (kolloidale Systeme) genommen haben, die einen Beitrag zur allgemeinen Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik von Ilya Prigogine darstellt. Diese Diskussionen haben ihm sehr geholfen, immer tiefer in diese so wichtige Theorie einzusteigen. Dank gebührt auch dem Verlag SpringerNature, dessen verantwortliche Herausgeber der Veröffentlichung von „Was für ein Zufall! Über Unvorhersehbarkeit, Komplexität und das Wesen der Zeit“ (2022), ein erstes populärwissenschaftliches Buch, das in die Grundlagen dieser Theorie einführt.

E-Mail-Adresse des Verfassers: bernhard@bernhard-wessling.com



Wie entsteht Information, wo kommt ihre Bedeutung her? Zum Verständnis von Information in der digitalen Gesellschaft mit KI-Systemen wie ChatGPT

Klaus Fuchs-Kittowski (MLS), Christian Stary (MLS)

Wie viel und mit welcher Richtigkeit würden wir wohl denken, wenn wir nicht gleichsam in Gemeinschaft miteinander, denen wir unsere und die uns ihre Gedanken mitteilen, dächten.

Immanuel Kant

Veröffentlicht: 20. März 2024

Abstract

Becoming aware of the multiple perspectives when considering the creation of information, in this contribution we revisit the perspectives of semiotics, biology, and organizational knowledge management in the context of digital information systems. In particular, we consider this process not only from syntactic, semantic and pragmatic points of view, but from the perspective of referring to reality, i.e. sigmatics, in self-organizing systems. Since technical information systems per se do not have any mechanisms for finding meaning and creating meaning, understanding the form and processes in which information and its meaning can arise is of crucial importance. Sigmatics expands research to include the relationship of meaningful entities to the perceivable and shapeable reality of individuals. They must be taken into account in particular when developing and using generative AI systems.

Resümee

In diesem Beitrag widmen wir uns der Entstehung von Information aus den Perspektiven der Semiotik, der Biologie und des organisationalen Wissensmanagements unter Berücksichtigung digitaler Informationssysteme. Die dargestellten Inhalte werden nicht nur syntaktischen, semantischen und pragmatischen Gesichtspunkten, sondern insbesondere aus der Perspektive des Realitätsbezugs, d.h. der Sigmantik, unter Berücksichtigung von Selbstorganisation betrachtet. Da technische Informationssysteme an sich keine Mechanismen zur Bedeutungsfindung und interner Bildung von Bedeutungen besitzen, kommt dem Verständnis, in welcher Form und entlang welcher Prozesse Information und ihre Bedeutung entstehen kann, entscheidende Bedeutung zu. Die Sigmantik erweitert bisherige Betrachtungen um den entscheidenden weiterführenden Aspekt des Bezugs zur wahrnehm- und gestaltbaren Realität, der insbesondere bei der Entwicklung und Nutzung generativer KI-Systeme zu beachten ist.

Keywords/Schlüsselwörter

Information, Semantics, Sigmatics, Digital Transformation, Knowledge Management, Artificial Intelligence, ChatGPT

Information, Bedeutung, Semiotik, Digitale Transformation, Wissensmanagement, Künstliche Intelligenz, ChatGPT

Ein entscheidendes Anliegen dieses Artikels ist, eine Unterscheidung zwischen Generieren und Kreieren herauszuarbeiten. Denn, obwohl mit dem Begriff Generative KI, das was wirklich geschieht auf einen guten wissenschaftlichen Begriff gebracht wurde, wird in diesem Zusammenhang doch immer wieder davon gesprochen, dass diese KI-Systeme kreativ seien, schöpferische Leistungen hervorbringen. Ein Beispiel dafür ist die Einführung in Generative KI, wie sie von einer Autorengruppe (Feuerriegel/Hartmann/Janisch/Zschech 2024) in der jüngsten Ausgabe der Zeitschrift Business Information Systems Engineering publiziert wurde. Gut ist der Artikel, da er sich nicht nur um die Erklärung eines Schlagwortes handelt, sondern zugleich auch auf sinnvolle Einsatzgebiete und mögliche Begrenzungen der KI-Systeme hingewiesen wird. Es wird deutlich gemacht, dass die Systeme in andere Anwendungssysteme eingefügt werden können, die dadurch qualitativ wesentlich verbessert werden können. Es wird auf ihre mögliche Bedeutung bei der hybriden Automatisierung verwiesen und die sich insbesondere daraus ergebende Notwendigkeit einer soziotechnischen Systemgestaltung.

Wie zu zeigen ist, zwingt uns genau dies zu einer klaren Unterscheidung zwischen Generieren und Kreieren. Die Natur und der Mensch können kreativ sein. Im lebenden Organismus kann auf Grund der inneren Dynamik, des objektiven Zufalls, unter begrenzenden Bedingungen, der sehr hohen Dynamik und Komplexität, der enormen Konnektivität der Synapse des menschlichen Gehirns, wirklich neue Information entstehen. Der technische Automat, ebenso wie der formal lernende, kann Informationen transformieren, verdichten oder verteilen, er kann sie generieren, in unterschiedlicher Weise kombinieren, er fügt aber der eingegebenen Datenmenge, mag sie auch noch so groß sein, kein grundsätzlich neues Element hinzu. Durch Verdichtung oder Kombination vorhandener Daten können Aussagen gewonnen werden, die für die Nutzer*innen neu sind, so dass ihre schöpferische Tätigkeit unterstützt wird. Schöpferisch sein mit dem Computer, mit generativen KI-Systemen ist die entscheidende Herausforderung an den Menschen, an das Bildungssystem und die Gesellschaft in unserer Zeit der Digitalisierung in fast allen Bereichen unseres Lebens.

1. Zur Entwicklung eines semiotisch orientierten Verständnisses der Information – Aspekte eines evolutionären Stufenkonzepts der Information

Wir gehen von der Erkenntnis aus: „Der Begriff der Information ist nicht nur eine Grundlage der Informatik, sondern gibt auch die theoretische Grundlage für die interdisziplinäre Bewältigung der Probleme, die uns die *Informationstechnologien* aufgeben.“ (Steinmüller 1993: 155) Dies schrieb Wilhelm Steinmüller Ende des vergangenen Jahrhunderts und machte zuvor auf die Ausführungen des Editorials von CPJ aufmerksam, in denen es hieß:

„*Although computer professionals have been working in the field of information systems design for many years, ... nevertheless little work has been done in developing a theory of information itself.*“ (zitiert nach Steinmüller 1991: 1)

In den vergangenen 30 Jahren ist sehr viel zum Verständnis der Information von den unterschiedlichsten Wissenschaftlern aus der Sicht der verschiedensten Gebiete geschrieben worden (hier sei nur auf einige uns nahestehende Autor*innen verwiesen: Wenzlaff 2002, Rosenthal 2002, Weizenbaum 2002, Fuchs/Hofkirchner 2002, Floyd 2002, Zorn 2016, Völz 2016, Ebeling 2024, Krause 2016, Floyd 2022, Kornwachs 2022, Schumann/Du 2022). Man kann also durchaus sagen, dass wir heute doch sehr viel mehr darüber wissen, was Information ist, wie sie entsteht und vergeht und doch bleibt ihre Bestimmung weiterhin vage, passt sie schlecht in unser naturwissenschaftliches Weltbild. Wie dies schon Norbert Wiener mit

seiner berühmten Definition: „Information ist Information, weder Materie noch Energie“ (Wiener 1963: 192) zum Ausdruck bringen wollte.

Aber, was wir heute über das Wesens des Phänomens Information wissen, lässt sich in der Tat sehr gut nutzen für die interdisziplinäre Bewältigung der Probleme, die uns die Informationstechnologien aufgeben – so auch im Zusammenhang mit der Entwicklung und Nutzung des KI-Systems ChatGPT. Dieser jüngste Erfolg der KI-Forschung hat einen Boom in der Nutzung digitaler Systeme ausgelöst, ebenso wie eine breite Diskussion über Chancen und Gefahren dieser Entwicklung (Barachini/Stary 2023).

Mit der Diskussion des qualitativen Unterschieds zwischen Informationsgenerierung und Informationsentstehung sowie Wertebildung, sowie des Unterschieds zwischen Informationsspeicherung und Bewahrung von Information im Gedächtnis des Menschen, lässt sich zeigen, wo die großen Möglichkeiten der Digitalisierung und von KI-Anwendungen, aber auch wo ihre Begrenzungen und Gefahren liegen.

Auf eine Gefahr wollen wir hier besonders hinweisen. Dies ist die Gefahr des Verlustes an Realitätsbezug. Auch darauf hatte schon W. Steinmüller mit seinem semiotischen Kreuz der Information, mit dem Verweis auf den sigmatischen Aspekt der Information, hingewiesen. (Steinmüller 1993: 203)

Es wurde zuerst in der Semiotik erkannt, dass man auch den semantischen und den pragmatischen Aspekt der Information berücksichtigen muss (vgl. Ch. W. Morris (Morris 1988) C. S. Peirce (Peirce 1986)). Da diese Aspekte jedoch nicht in Form von Bits dargestellt werden können – jedes Computersystem ist eine Bits verarbeitende Maschine – werden sie oftmals vernachlässigt.

W. Steinmüller war einer der ersten, der für die Informatik verdeutlichte, dass das Semiotische Kreuz (siehe Abbildung) und das Informations-Modell kompatibel sind. Er bezieht sich dabei auf die Arbeiten von G. Klaus zur Semiotik und Erkenntnis (Klaus 1993). W. Steinmüller (Steinmüller 1993) sieht die Fruchtbarkeit der Anwendung der Semiotik auf die Information zu Recht darin, dass sich somit verschiedene „Dimensionen“ oder (logische) Ebenen der Information gewinnen lassen. Die aus der Linguistik bekannten Bestimmungen: Syntax, Semantik, Pragmatik und dann auch Sigmantik werden bei G. Klaus und darauf fußend bei W. Steinmüller zu Aspekten bzw. Dimensionen der Information. Sie sind, wie zu zeigen war, noch mehr im Lebendigen, im Prozess der Informationsentstehung sind es sich wechselseitig bedingende Prozessstufen.

Daher ist es wichtig, dass die Semiotik als Wissenschaft von den Zeichen und den Zeichenprozessen alle Vorgänge der Bedeutungsproduktion und der dafür erforderlichen komplexen Systeme erforscht, die als zentral für die Entstehung von Information angesehen werden müssen.

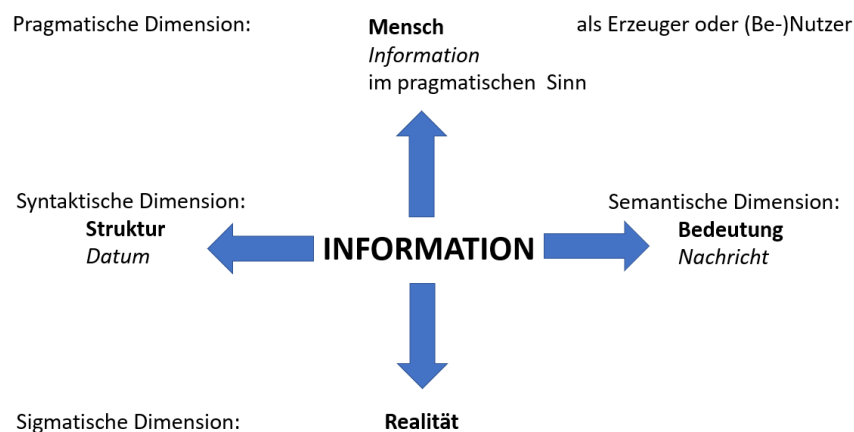


Abb. 1: Semiotisches Kreuz (eigene Darstellung nach Steinmüller, 1993)

W. Steinmüller schreibt unter der Überschrift „Zur Allgemeinen Informationstheorie: Die Weiterentwicklung des Informationsverständnisses geschah zunächst in Weiterführung von G. Klaus (der die Shannon'sche Information [Übertragungs-] Theorie zu einem Teilgebiet der Kybernetik transformierte, wohl um eine kybernetisch-sozialistische Theorie der Rechner zu ermöglichen) ...“ (Steinmüller 1993: 209).

W. Steinmüller verweist ausdrücklich auf die sigmatische Dimension der Information, ihren Realitätsbezug. „Sie ist für jede ‚praktische‘ Wissenschaft unentbehrlich; für die Angewandte, Wirtschafts- und Rechtsinformatik benötigt etwa zur Diskussion der rechtlichen Regelungen des updating; zur Unterscheidung zwischen ‚richtiger‘ und ‚unrichtiger‘ bzw. ‚wahrer‘ und ‚falscher‘ Information. (Datenbanken und Dokumentensysteme, die ihre Objekte unrichtig abbilden, stellen immer noch den pathologischen Normalfall dar!)“ (Steinmüller 1993: 204.)

Er verdeutlicht weiterhin, dass man in der Semiotik meist nur eine Dreiteilung kennt, indem die Sigmantik in der Semantik belassen wird: „Dann kann die Frage nicht mehr diskutiert werden, ob der Forschungsgegenstand wirklich existiert.“ Er hebt dann hervor: „Die Unterscheidung zwischen Semantik und Sigmantik geht wieder auf G. Klaus zurück, der sich als materialistischer Philosoph nicht nur für die Denkstrukturen der Logik, sondern auch für deren Ursprung in der Wirklichkeit interessierte. Freilich ist zuzugeben, dass die Sigmantik auf einer anderen logischen Ebene liegt.“ (Steinmüller 1993: 206)

W. Steinmüller verweist auf Arbeiten des Philosophen und Kybernetikers Georg Klaus – dies wurde inzwischen durch eine Stellungnahme des Semiotikers und Schriftstellers Umberto Eco noch verstärkt. Heute wird im Kreis der Semiotiker anerkannt, dass Georg Klaus den Aspekt der Sigmantik als Erster in die Semiotik eingeführt hat. Auch wurde dies auf drei Tagungen, zum einen der Berlin-Brandenburgischen Akademie (Eckhart 2011), und zum anderen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften (Fuchs-Kittowski 2004, Fuchs-Kittowski 2014) zum Gedenken an Georg Klaus bekräftigt. Es wurde verdeutlicht, dass es für die moderne Semiotik unausweichlich ist, außer dem syntaktischen, semantischen und pragmatischen Aspekt der Zeichen bzw. der Sprache, auch den sigmatischen, den Realitätsbezug zu berücksichtigen (Kalkofen 2004, Carlé 2004).

In der Informatik wurde, nach begründeter Wiederaufnahme der begrifflichen Auseinandersetzung (Weizsäcker/Weizsäcker 1972) sowie langen Diskussionen weithin anerkannt, dass es eines an der Semiotik orientierten Informationsbegriffs bedarf (Fuchs-Kittowski/Kaiser/Tschirschwitz/Wenzlaff 1976, Fleissner/Hofkirchner/Müller/Pohl/Stary 1998). Entsprechend definierten wir: Information ist eine Trias von: Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik) (Fuchs-Kittowski 1992a). Die Sigmantik wird impliziert, nicht ausdrücklich genannt. Dies sollte mit der Erkenntnis, dass der Realitätsbezug nicht nur von richtiger Informationsaufnahme abhängig ist, sondern durch ständige Rückwirkung für längere Zeit erhalten und immer wieder durch Rückwirkung erneut gewährleistet werden muss, unbedingt korrigiert werden. Demnach ist die Sigmantik in eine Definition aufzunehmen: Information ist mit der Prozessstufe Sigmantik (Realitätsbezug, bzw. Rückwirkung) ein Quartett:

Die Kernaussagen unseres Verständnisses der Information sind weiterhin:

1. Information ist: Signal + Bedeutung (Semantik)
2. Information ist eine spezifische, organisierende Wirkung
3. Information ist ein Verhältnis zwischen Sender und Empfänger
4. Information besitzt einen Doppelcharakter, als Codierung ist sie materiell, als Semantik ideell
5. Information, ihre Bedeutung wird weder gespeichert noch maschinell übertragen, sondern im Gedächtnis, dynamisch über längere Zeit erhalten

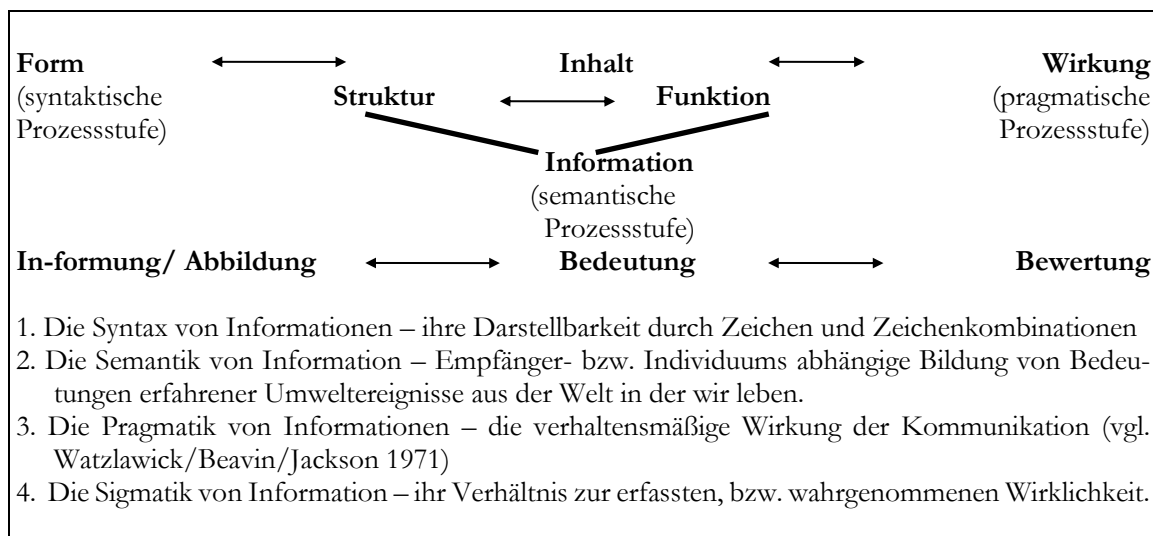
6. Information, ihre Bedeutung wird in ständiger Wechselwirkung mit der Umwelt, im Prozess der Selbstorganisation, intern erzeugt.

Diese Grundaussagen zu unserem evolutionären Informationsverständnis konnten mit dem Denkmodell des verallgemeinerten Hyperkreises gewonnen und verdeutlicht werden. Dessen entscheidende Aussage ist:

Information ermöglicht erst organisierte Strukturen, die komplizierte Funktionen realisieren können. Wobei die Information erst durch die Funktion, über die damit erfolgende Bewertung ihre Bedeutung erhält und damit entsteht.

Die Prozessstufe der Bewertung wird durch die Rückwirkung der Umwelt realisiert.

Es ist also ein in sich widersprüchlicher Kreisprozess und wechselseitiger Bedingungsprozess: von *Abbildung (Struktur)*, *Interpretation (Bedeutung)* und *Wirkung (Funktion, Verhalten)* sowie *Rückwirkung (Bewertung)*, der zur Entstehung von Information führt.



Der Grundgedanke des evolutiven Konzepts der Information wird veranschaulicht, indem die Funktion nur auf der Grundlage einer speziellen, durch Information organisierten Struktur realisiert werden kann und die Information ihre Bedeutung erst durch ihre Wirkung (die Realisierung der Funktion bzw. Verhalten) erhält. Die Struktur wird durch die spezielle Funktion geschaffen und erhalten. Durch diesen Zusammenhang von Struktur und Funktion werden Bedeutungen vermittelt, die erst in diesem Wechselwirkungsprozess gebildet werden. Somit entsteht Information erst dann, wenn durch die Realisierung der Funktion, durch die Wirkung, eine Bewertung erfolgt ist und somit die Information ihre Bedeutung erhält.

Entscheidend für das hier entwickelte evolutionäre Stufenkonzept der Information ist, dass nicht von Aspekten oder Dimensionen der Information gesprochen wird, sondern Syntax, Semantik, Pragmatik sowie Sigmantik als sich wechselseitig bedingende und bestimmende Prozessstufen der Entstehung, Verarbeitung und Nutzung der Information verstanden werden.

Der Hinweis von W. Steinmüller: „Freilich ist zuzugeben, dass die Sigmantik auf einer anderen logischen Ebene liegt.“ (Steinmüller 1993: 206) ist für unsere weiteren Ausführungen sehr wichtig. Denn in der Tat sind Syntax und Semantik sowie die organisierende Wirkung der Information, die Pragmatik, ihr unmittelbar zugehörig. Durch die Reduktion der Semantik auf eine Syntaxstruktur (Daten) wird die maschinelle Verarbeitbarkeit der Information, dieser reduzierten Abbildung möglich. Damit werden neue, ambivalent wirksame Effekte, wie der Rationalisierungseffekt, der Erkenntniseffekt, sowie der Organisations- und Kommunikationseffekt möglich. Die Information erhält somit neue Gebrauchswerte, die entsprechend gesellschaftlichen oder individuellen Bedürfnissen ausgewählt werden können. Es liegt somit kein technologischer Determinismus vor.

Die Mensch-Computer-Kommunikation ist eine Kopplung von maschineller (syntaktischer) und menschlicher (semantischer) Informationsverarbeitung (Fuchs-Kittowski/Lemgo/Schuster/Wenzlaff 1975). Dies wird im Zusammenhang mit dem KI-System ChatGPT besonders deutlich.

Die semantische Informationsverarbeitung ist die Kombination von Bedeutungen der Information, um neue Bedeutungen zu bilden. Sie ist die für die Menschen typische Form Informationen zu verarbeiten. Denn hier gilt es sich auf den Inhalt zu konzentrieren. Die strukturellen Prozesse, die der Bedeutung von Wörtern und Sätzen zugrunde liegen, werden von Menschen unbewusst ausgeführt.

Die syntaktische Informationsverarbeitung ist eine Transformation der Struktur von Informationsträgern. Aufgrund von einzigartigen Regeln zwischen Informationsträgern und ihren Bedeutungen sind ihnen neue Bedeutungen zugeschrieben. Der Inhalt, die Semantik der Information, wird mittels struktureller Transformationen verarbeitet.

Bei der syntaktischen Informationsverarbeitung ist die Semantik der Information auf ihre syntaktische Struktur reduziert, es gibt keine oder sehr reduzierte Intentionalität (extensionale Semantik). Um von einer Semantik zu einer anderen Semantik zu gelangen, bedarf es der entsprechenden Syntaxtransformationen.

Erst auf den höheren Stufen der organismischen und menschlichen Informationsverarbeitung erlangen Semantikbeziehungen eine konstituierende Funktion, indem sie Syntaxtransformationen steuern.

Dann haben wir es mit „intensionaler Semantik“ zu tun. Intensional heißt hier, dass die Semantik direkt – nicht nur vermittelt über Syntaxtransformationen – auf Semantik wirkt. Sprachlich formulierte (begriffliche) Inhalte werden verstanden und eine entsprechende Handlung ausgeführt.

Im Fall der neueren, KI-unterstützten Sprachmodelle, wie ChatGPT, ist es nun in verstärktem Maße gelungen, extensionale Semantik (reduzierte Intentionalität) zur Steuerung von Syntaxstrukturen zu nutzen.

2. Wo kommt Bedeutung her und wie wird Information erzeugt?

2.1. Informationsverarbeitung und -generierung versus Informationsentstehung

Die Regelungstechnik, die Kybernetik (1. Ordnung) setzt Information immer schon voraus. Auch die sich später entwickelnde Informatik kennt nur den Begriff der Informationsverarbeitung, nicht den der Informationsentstehung.

Das Wesen einer Erscheinung kann jedoch erst wirklich erfasst werden, wenn man auch nach ihrer Entstehung und Entwicklung fragt. Nach der Entstehung von Information wurde zuerst in der Theorie der Biologie gefragt.

Aus dem Vergleich von technischer Regelung mit den Regulationsprozessen des Zellstoffwechsels (Rapoport 1960) ergibt sich der Vergleich zwischen technischem Automaten und lebendigem Organismus, mit der zentralen Schlussfolgerung, dass es die Prozesse der Entstehung von Information sind, durch die sich das Lebendige grundsätzlich von dem technischen Automaten unterscheidet (Fuchs-Kittowski 1964). Es liegt also in der Tat auf der Hand, sich um ein tieferes Verständnis der Information zu bemühen. Die Fragen nach den charakteristischen Merkmalen der Information, der Art ihrer Erhaltung über längere Zeit, die Frage, ob sie als eine vorgegebene Ordnung zu verstehen ist oder im Prozess der Entwicklung und der Kognition entsteht (Varela 1990), ist heute in der Molekularbiologie, in den Neurowissenschaften, in den Sprachwissenschaften, im Paradigmenstreit der Kognitionswissenschaft und KI-Forschung (Fuchs-Kittowski 1999, Fuchs-Kittowski 1992b) sowie

in der modernen Theorie der Unternehmensorganisation (Fuchs-Kittowski/Heinrich/Rolf 1999) von besonderer Aktualität.

2.2 Informationsentstehung – von einer Hypothese zu einem forschungsleitenden Konzept

„Wo kommt Bedeutung her und wie wird Information erzeugt?“ (Weizenbaum 2002) war der Titel eines wichtigen Beitrages von Joseph Weizenbaum. Diese Frage beantwortet er, indem er deutlich macht, dass das Verständnis des Inhaltes eines Telegramms entscheidend von der Aktivität des Empfängers abhängig ist. Der Empfänger interpretiert die syntaktische Struktur, um daraus die Information-zu gewinnen, deren Bedeutung dann wesentlich durch seine Erwartungshaltung bestimmt wird.

Hier wurde von Joe Weizenbaum das Thema der Informationserzeugung, der Entstehung von neuer Information aufgenommen, welches Klaus Fuchs-Kittowski schon seit seiner Dissertation zum Thema „Probleme des Determinismus – technische Regelung und Regulationsgeschehen im lebenden Organismus“ (Fuchs-Kittowski 1964) stark beschäftigt hatte. Im Untertitel der Dissertation und dann auch der Habilitation (Fuchs-Kittowski 1969/1976) heißt es: „Tatsachen und Hypothesen zum Verhältnis des technischen Automaten zum lebenden Organismus.“ Die entscheidende Hypothese war, dass sich der lebende Organismus vom technischen Automaten durch interne Prozesse der Informationsentstehung grundsätzlich unterscheidet. Das war zunächst, bei der Fertigstellung der Dissertation, in der Tat eine gewagte Hypothese.

1953 hatten James Watson und Francis Crick die Doppelhelix-Struktur der DANN aufgedeckt (Watson 1969). Seither ist bekannt, dass die DANN-Struktur einer Doppelhelix gleicht, einer Strickleiter.

Mit der Aufklärung der Struktur und Funktion der DANN durch James Watson und Francis Crick wurde es üblich, im Bereich der molekularen Biologie von Code, von Informationsspeicherung und -übertragung zu sprechen. Es wurde klar, dass Mathematik und Kybernetik einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der Molekularbiologie leisten könnte. Norbert Wiener ist, wie wir heute wissen, der Anregung von John von Neumann, sich auch dieser Ebene der Organisation der Lebensprozesse zuzuwenden, nicht gefolgt (Masani 2012).

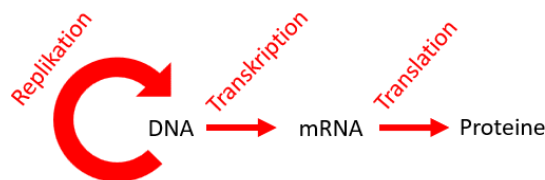


Abb. 2: Struktur und Funktion der DANN (eigene Darstellung nach Masani 2012)

Dieses Flussdiagramm wird auch als das „zentrale Dogma“ der Molekularbiologie bezeichnet.

Die DANN ist demnach der Speicher der Erbinformation. mRNA (Messengers-RNA) ist die Arbeitskopie der DANN, die in der Zelle als Informationsüberbringer eingesetzt wird. Der Prozess des Abschreibens von Information aus der DANN in eine mRNA-Arbeitskopie wird als Transkription bezeichnet.

Insbesondere durch eine kritiklose Übernahme des kybernetischen Kanalmodells der Informationsübertragung sowie das Denkmodell des technischen Automaten zur Erforschung der makromolekularen Wechselwirkung bei der Expression der Erbinformation in der Ontogenese, war die Vorstellung vom alleinigen Ablesen der schon vorgegebenen Information aus dem Speicher DANN zunächst weit verbreitet.

Entgegen dieser verbreiteten präformistischen Konzeption kamen wir, auf der Grundlage molekularbiologischer, kybernetischer und philosophischer Erkenntnisse, zu einer Bestimmung des Wesens des Lebendigen, in der Prozesse der Informationsentstehung eine wichtige Rolle spielen und auch in der Ontogenese nachweislich gegeben sind. Vergleichbar mit dem Computer findet mit den Eiweiß-Nukleinsäure-Wechselwirkungen im Prozess der Proteinsynthese eine Symbol- bzw. Zeichenkettenverarbeitung statt – allerdings in der Dynamik der lebenden Zelle als Ganzes.

Wir kommen zu folgender entscheidenden These: Die Qualität Leben liegt in der spezifischen Ordnung und Organisation des physikalisch-chemischen Geschehens durch Steuerung (DANN-RNA-Protein) und enzymatische Regulation des Stoff- und Energiewechsels, in der Verbundenheit von Steuerung und Regulation mit der molekularen Struktur der Zelle und der Erhaltung der Struktur durch Steuerung und Regulation, in der durch diese besondere Verbindung von Struktur und Funktion gegebenen Möglichkeit für Prozesse der Entstehung von Informationen, der Selbstorganisation in Phylo- und Ontogenese. (Fuchs-Kittowski 1969/1976: 61)

Damit werden entscheidende Wesensmerkmale des Lebenden deutlich.

Unter dem Einfluss der Informatik wurde zwar von Informationsverarbeitung gesprochen, die Existenz der Information wird aber immer schon vorausgesetzt.

Dies änderte sich mit der grundlegenden Arbeit von Nobelpreisträger Manfred Eigen, mit seiner darwinistischen Theorie der Lebensentstehung (Eigen 1971). Denn mit dieser Arbeit wurde der Ursprung der biologischen Information aufgezeigt. Darin heißt es u.a.: Wir haben eine Theorie der Informationsverarbeitung der Informatik, eine Theorie der Informationsentstehung gibt es noch nicht. Es folgt ein entscheidender Satz. Der lernende Automat bekommt seine Information und sein Wertesystem von außen, im Prozess der Entstehung des Lebens muss beides intern entstehen. Damit wurde sehr deutlich zwischen interner Informationsentstehung sowie Bildung von Werten in der Entwicklung des Lebenden und maschineller Informationsverarbeitung auch durch lernende Automaten unterschieden. Dies jetzt im Rahmen einer gut begründeten Theorie der Entstehung des Lebens und nicht mehr nur als Hypothese (Fuchs-Kittowski/Rosenthal 1972). Auch wenn diese Hypothese u.E., auf der Grundlage der damaligen Erkenntnisse der Biochemie und Molekularbiologie, ein vertieftes philosophisches und theoretisches Verständnis der Lebensprozesse, ihrer Spezifik gegenüber den technischen Automaten, wie dies auch schon von W. Elsasser (Elsasser 1958) erarbeitet wurde, damals schon gut begründet war.

Denn aus den experimentellen Ergebnissen und theoretischen Ergebnissen ergab sich der logische Schluss: Die Aussage des Zentraldogmas der Molekularbiologie, dass es keine informationelle Rückwirkung von den Proteinen auf die Nukleinsäuren gibt, ist richtig. Die Annahme des Präformismus, dass schon der gesamte Informationsgehalt des erwachsenen Organismus in der Keimzelle vorliegt, ist äußerst unwahrscheinlich, u.a. da er gegen Rauschen nicht ausreichend geschützt werden kann. In der Ontogenese müssen also noch weitere, nicht genetische Informationsquellen genutzt werden, also Selbstorganisation mit Informationsentstehung stattfinden.

Wie in der Quantenphysik, musste man auch in der Biologie, bei der Anwendung der technischen kybernetischen Denkmodelle, wie Kanalmodell, Regelkreis oder Automat, lernen, dass es gilt, mit dem klassischen Modell zu beginnen und dann zu prüfen, wann es an seine Grenzen stößt und schrittweise erweitert werden muss. Eingängig schildert François Jacob in seinem Buch „Die Logik des Lebenden“ (Jacob 1972), wie das aus der Automatisierungstechnik bzw. Informatik entlehnte Denkmodell des „Programms“ beim tieferen Verständnis der Vererbungsprozesse schrittweise erweitert werden muss, will man den

biologischen Prozess der Vererbung und der ontogenetischen Entwicklung des individuellen Organismus wirklich verstehen (Fuchs-Kittowski 1976: 210ff, Fuchs-Kittowski 2018).

Heute kann begründet ausgesagt werden: So wie bei der Modell- und Theorienbildung im Grenzbereich zwischen Physik und Biologie die Entstehung der Information eine entscheidende Rolle spielte, so erweist sich dies ebenfalls bei der Modell- und Theorienbildung im Grenzbereich von Automaten (Software) und menschlichem Geist sowie bei der Modell- und Theorienbildung im Grenzbereich zwischen automatenunterstütztem Informationssystem und sozialer (betrieblicher) Organisation als Ganzem.

2.3. Gibt es einen genetischen Determinismus?

Die weitere erkenntnistheoretisch-methodologische These setzt sich mit dem sogenannten genetischen Determinismus auseinander. Gibt es einen genetischen Determinismus? Ja und Nein!

Die Antwort ist: Es gibt ihn nur insofern, als Struktur und Funktion aller Proteine in den Genen festgelegt sind. Wie aber die Proteine und Zellorganellen, wie Zellen und Gewebe und Organe in der Ontogenese miteinander wechselwirken, wird durch weitere (untergeordnete) Informationssysteme, zum Beispiel Botenstoffe, Zellkontakte bewirkt.

Es gibt also nicht nur die DNA als Informationsquelle, im Verlauf der Ontogenese kommen Quellen zellulärer Information hinzu. Wir betonen jedoch dabei, dass es eine Hierarchie gibt, und hier stehen die Gene (DNA) an der Spitze. Bei den Prozessen der Vererbung wird nur die DNA an die nächste Generation weitergegeben. Aber in der DNA steht nicht, wie die Form der Nase etc. auszusehen hat. Die Ähnlichkeit von Zwillingen, Geschwistern und Eltern und Kindern kommt letzten Endes durch die DNA, aber nicht nur durch sie, zustande.

Die Frage, gibt es einen genetischen Determinismus wurde und wird in den Lebenswissenschaften unterschiedlich beantwortet. Mit der Entdeckung der RNA, der Formulierung des Zentraldogmas der Molekularbiologie, dass es keine informationelle Rückwirkung von den Proteinen auf die RNA geben kann sowie mit der Anwendung des kybernetischen Kanalmodells auf die Prozesse der Informationsübertagung von der DNA zu den Orten der Proteinsynthese, wurde die Konzeption eines strengen genetischen Determinismus, nach dem die DNA oder die Gene als die einzige Quelle der Information und Steuerung sämtlicher Lebensprozesse, für die Entwicklung des erwachsenen Organismus anzusehen sei, diskutiert.

Insbesondere Walter Elsasser machte in seinem Buch: „The Physical Foundation of Biology“ wohl mit als Erster darauf aufmerksam, dass diese Konzeption, nach der die gesamte Ontogenese nur ein Ablesen von Information aus dem Speicher DNA bestehe, der in der Philosophie und Theorie der Biologie schon lange diskutierten Präformationstheorie, nun im Gewand der Informationstheorie, entspricht. Er fand zunächst wenig Gehör und wurde als wissenschaftlicher Vitalist bezeichnet. Er hat seine Konzeption in verschiedenen weiteren Arbeiten schrittweise präzisiert (Elsasser 1987). Seine letzte Arbeit zur Theorie der Biologie wurde vom Präsidenten der USA mit dem höchsten Forschungspreis ausgezeichnet (Elsasser 1987). Doch gibt es sicher noch weiteren Diskussionsbedarf (Fuchs-Kittowski 2018).

Deshalb gewann die Darstellung des bekannten Virologen Hans-Alfred Rosenthal unter dem Titel „Der Molekularbiologe und das Hühnchen“ besondere Bedeutung. Sie wurde von Joseph Weizenbaum aufgegriffen, um seine Argumentation gegen Übertreibungen in der KI-Forschung zu vertiefen. Rosenthal schreibt in einem gemeinsamen Artikel mit K. Fuchs-Kittowski und seinem Sohn André: „Wir haben uns deutlich von einem genetischen Determinismus distanziert, der als einzige Quelle der Information und Steuerung sämtlicher Lebensprozesse die genetische Information bzw. die DNA oder die Gene sieht. Wenn man

einem versierten Molekularbiologen, der noch nie in seinem Leben einen Vogel gesehen oder von ihm gehört hat, die DNA eines Huhnes vorlegt, so wird er bestenfalls erkennen, welche Proteine codiert sind (nach Erforschung des Proteoms), aber weder die Gestalt noch die Funktionen des Lebewesens erkennen können. Er kann (in absehbarer Zeit) alle Gene und alle von ihnen codierten Proteine und deren Funktion aus der DNA herauslesen. Er wird auch verstehen, dass es sich um ein hochentwickeltes Tier usw. usf. handelt. Wie es aussieht und wie es im Einzelnen funktioniert, wird er aber aus der DNA nicht erkennen können, denn wie wir ausgeführt haben, steuern weitere Informationsquellen die Entwicklung des Organismus und seine Lebensprozesse, ja selbst die DNA existiert in ihrer Funktion nur über Rückkopplungen mit spezifischen Proteinen. Es gibt im Netzwerk der Vererbungsprozesse eine Hierarchie (der DNA für die Proteine), das Netzwerk wäre sonst ein Chaos.“ (Fuchs-Kittowski/Rosenthal H./Rosenthal A. 2003)

Joe Weizenbaum nutzt nun diese Gedanken bei der Behandlung des von ihm erneut aufgegriffenen Themas: „Wo kommt Bedeutung her und wie wird Information erzeugt?“. Er schreibt: „Prof. Hans Rosenthal hat in einem Vortrag über die DNA-Ketten gesagt, dass man, wenn man die vollständige DNA eines Hühnchens kennt, alles über dieses Tier weiß, was man überhaupt von ihm [als Molekularbiologe, Anm. der Autoren] wissen kann. Aber man kann von dieser Signalkette nicht darauf schließen, dass es sich um ein Hühnchen handelt. Dies verhält sich sehr analog zu einem Computer. Stellen wir uns einen einfachen Computer vor, z.B. einen Laptop. Nehmen wir an, ich finde einen Laptop. Es ist ganz klar, dass er funktioniert. Ich untersuche ihn mit Hilfe guter Instrumente. Nach einer Weile weiß ich den Zustand des Computers.... Also alle seine Komponenten und Bitfolgen. Nach weiteren Experimenten kenne ich auch die Regeln, nach denen der Computer von einem Zustand in einen anderen übergeht. Wenn man das weiß, dann weiß man aber alles über den Computer, was man überhaupt wissen kann. Jetzt kommt jemand und fragt ‚Was berechnet der überhaupt?‘ Das kann man trotzdem prinzipiell nicht wissen. Es ist dieselbe Geschichte wie mit dem Hühnchen. Wenn der Computer ein Informationsverarbeitungssystem wäre, dann müsste ich mit Hilfe meiner Instrumente herausfinden können, welche Informationen dabei bearbeitet werden, Aber das kann ich eben nicht.“ (Weizenbaum 2001.)

Hier sollte noch hinzugefügt werden, dass kein Informationssystem sich seinen Zweck, den Sinn seines Wirkens selbst vorgibt. Hierzu bedarf es immer der intensiven Wechselwirkung mit weiteren komplexeren Strukturen der unmittelbaren Umwelt, der DNA mit der Zelle, des Menschen mit anderen Menschen.

2.4. Informationentstehung bei der Wahrnehmung der Lebewesen – im Unterschied zur Informationsaufnahme beim lernenden Automaten

Im Zentrum der „Neuen KI“ steht heute der autonome Roboter, der in der Lage ist, sich selbstständig mit seiner Umwelt auseinanderzusetzen, sich an Veränderungen in seiner Umwelt anzupassen und dazu auch in sie verändernd einzugreifen. Im Rahmen der konnektionistischen KI-Forschung wurde deutlich, dass die Bedeutung der Information nicht in bestimmten Symbolen lokalisiert sein muss, sondern sich auch aus der Funktion des Gesamtzustandes des Systems bzw. aus dem Funktionieren des Gesamtsystems ergeben kann. Die Bedeutung befindet sich auch nicht in einzelnen Bestandteilen, sondern ergibt sich aus der Interaktion der Bestandteile.

In seiner Kritik an der kognitivistischen, sogenannten harten KI-Forschung hat John Searle festgestellt und mit seinem berühmt gewordenen „Chinesischen Zimmer“ veranschaulicht, dass man allein durch die Kombination von Syntax keine Semantik gewinnen kann. Im Rahmen der Neuen KI, der Robotik, konnte jedoch gezeigt werden, wie durch Interaktion mit der Umwelt zuvor keine Semantik tragende Strukturen semantisiert werden können. So

zeigten Peter Fleissner und Gregor Fleissner mit ihrem Gedankenmodell „Der blinde Springer“ (Fleissner P./Fleissner G. 1998) das Zusammenspiel von Vorgängen zwischen physischer und symbolischer Welt (Pragmatik) sowie die Entstehung von Bedeutungen durch diese Interaktion. Christian Stary und Markus Peschl konnten anhand des Verständnisses der Information als Trias von Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik) die Möglichkeit aufzeigen, wie der kognitivistische Ansatz mit dem konnektivistischen Ansatz der KI-Forschung zu verbinden ist, so dass KI-Systeme entstehen können, welche die Vorteile beider Ansätze verbinden, speziell die Möglichkeit der Gewinnung von Bedeutungen durch aktives Verhalten in der Umwelt zu nutzen ist (Stary/Peschl 1995).

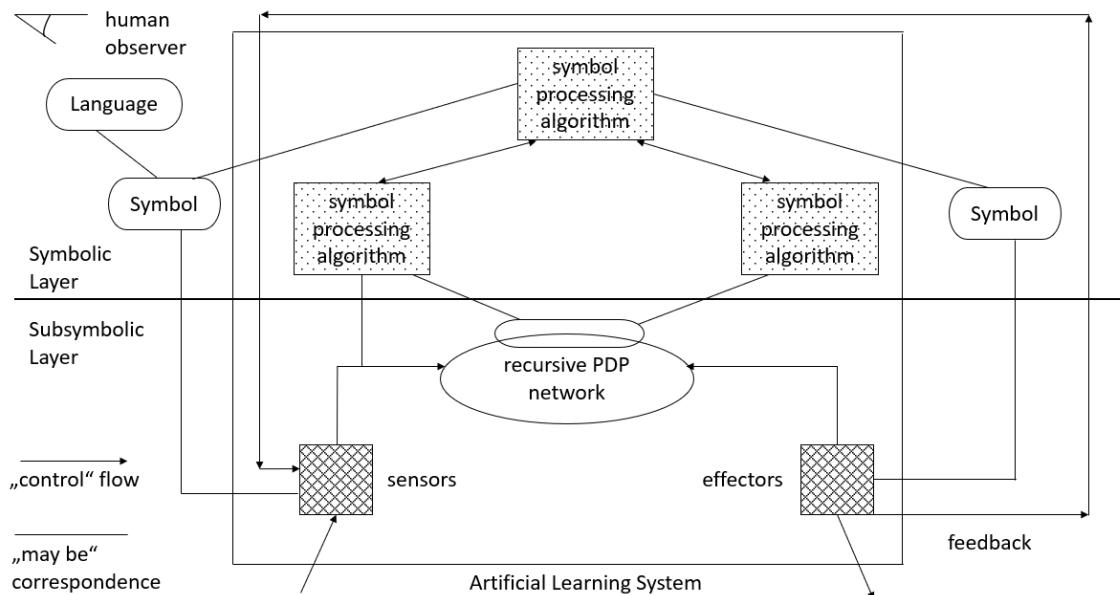


Abb. 3: Integration von kognitivistischem mit konnektionistischem Verarbeitungsansatz (eigene Darstellung nach Stary/Peschl 1995)

In der Abbildung wird diese Verbindung des kognitivistischen Ansatzes mit dem konnektionistischen gezeigt. Die symbolische, algorithmische Informationsverarbeitung ermöglicht zwar höhere Geschwindigkeit, allerdings kann keine neue Semantik entstehen. Die Lernprozesse auf Basis der subsymbolischen Informationsverarbeitung dauern länger. In Interaktion mit der Umwelt kann jedoch neue Semantik gewonnen werden.

Ausgehend vom Verständnis der Information als Trias von Form, Inhalt und Wirkung, konnte mit dem evolutionären Stufenkonzept der Information gezeigt werden, dass es hier nicht nur um Dimensionen der Information, sondern um Prozessstufen der Entstehung, Erhaltung und Nutzung der Information geht.

Entscheidend für die weitere Diskussion um die Entstehung von Information und die Herkunft der Bedeutung ist die Erkenntnis, dass beim lernenden Automaten die Information und das Wertesystem von außen kommen. Im Lebenden, im kreativen Denkprozess der Menschen, entstehen die Informationen und die sie steuernden Werte im Prozess der Selbstorganisation intern.

In Auseinandersetzung mit der präformistischen Position des genetischen Determinismus von Elsasser, Fuchs-Kittowski und Rosenthal (Fuchs-Kittowski 1969/1976: 61) wurden zunächst für die Ontogenese Prozesse der Entstehung von Information postuliert. Dann wurde von Umberto Maturana und anderen Neurowissenschaftlern nachgewiesen, dass auch beim Hören Information nicht oder nur zu einem geringen Teil aus der Außenwelt

aufgenommen wird. Diese wird vielmehr auf der Grundlage von Prozessen der Selbstorganisation intern erzeugt. Das gilt auch für die Sehwahrnehmung. Entgegen der verbreiteten Auffassung, dass beim Sehen die Information von außen aufgenommen wird, kann nachgewiesen werden, dass der größere Anteil von dem „was irgendeine Zelle des lateralen Kniehöckers an Informationen empfängt, nicht von der Retina kommt, sondern aus dem dichten neuronalen Geflecht anderer Bereiche des Gehirns.“ (Varela 1990), schreibt Francisco Varela.

Dies führt F. Varela zu einem, wie er sagt, neuen Verständnis der Information. Er schreibt in seinem Buch: „Kognitionswissenschaft und Kognitionstechnik“ (wie auch im Umschlagtext): „Es kam mir in dieser Arbeit besonders darauf an zu zeigen, dass dann, wenn der Kern aller Kognition in ihrer Fähigkeit besteht, Bedeutungen und Sinn zu erzeugen, Information nicht als irgendeine vorgegebene Ordnung aufgefasst werden kann, sondern den Regularitäten entspricht, die sich aus den kognitiven Aktivitäten selbst ergeben.“

In der Abbildung 4 werden die Verbindungen im visuellen System der Säugetiere gezeigt (Varela 1990: 74).

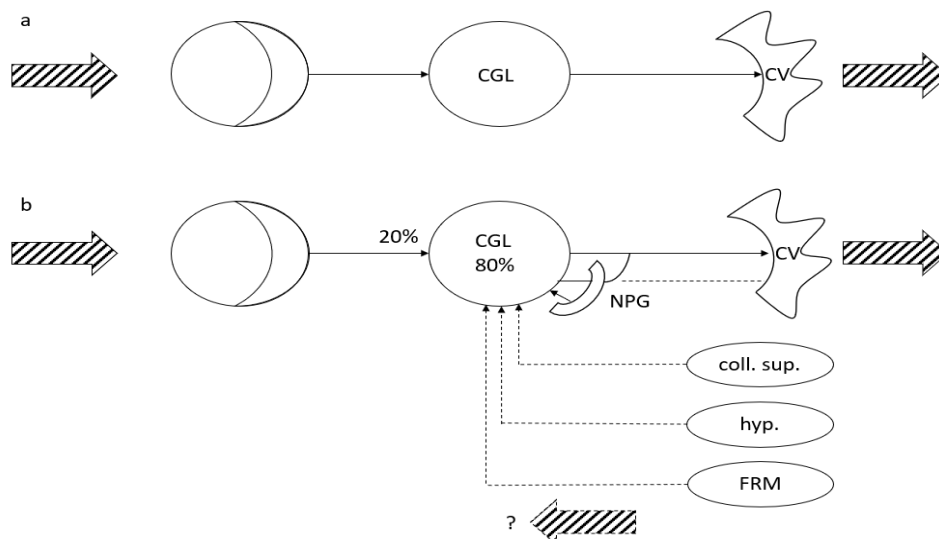


Abb. 4: Die Verbindungen im visuellen System der Säugetiere (eigene Darstellung nach Varela 1990).

Er fährt dann fort: „Diese meine neue Konzeption hat vielfältige wissenschaftliche, technische, philosophische und ethische Konsequenzen.“ (Varela 1990: Klappentext) Dieses Informationsverständnis entspricht den Überlegungen, dass neue Information im Prozess der Selbstorganisation entsteht. Wie dies auch hier vertreten wird (Fuchs-Kittowski 1998).

Damit dringen die Kognitionswissenschaften als Gesamtheit naturwissenschaftlicher Analyse von Erkennen und Wissen vor bis zur Erkenntnis der Spezifik der Lebensprozesse, den Prozessen der Informationserzeugung in der Selbstorganisation des Lebenden, im Unterschied zu den Prozessen der Informationsverarbeitung des technischen Automaten.

In der Definition von Information von Francisco Varela heißt es unter Berufung auf die Befunde von Huberto Maturana: „wenn der eigentliche Kern aller Kognition in ihrer Fähigkeit besteht Bedeutung und Sinn zu erzeugen“. Damit wird ebenfalls unsere These, dass die Bedeutung der Information weder übertragen noch gespeichert, sondern intern erzeugt wird, bestätigt. Entsprechend unserem Verständnis der Information ergibt sich dies aus dem

von uns immer wieder betonten Doppelcharakter der Information, dass sie als Codierung materiell und als Bedeutung ideell ist.

Auch die Fortsetzung dieses Satzes in der Definition ist wichtig: „Information nicht als eine irgendwie vorgegebene Ordnung aufgefasst werden kann, sondern der Regularitäten entspricht, die sich aus den kognitiven Aktivitäten selbst ergeben.“

Mit der Begründung, dass Bedeutung und Sinn durch Kognition erzeugt werden, finden auch auf der neuronalen Ebene Prozesse der Selbstorganisation verbunden mit Informationsentstehung statt. Varela und Maturana begründen ihre Konzeption der Selbstorganisation, die Autopoiese, mit der operationellen Abgeschlossenheit der Zelle. Auch wir betonen, dass Information vom lebenden Organismus nicht unmittelbar von außen aufgenommen wird. Entsprechend den Aussagen des Zentraldogmas der Molekularbiologie wird der Speicher der Erbinformation auch vor Einflüssen von außen speziell geschützt.

Die mit dem Schema von Maturana dargestellten naturwissenschaftlichen Erkenntnisse über neuronale Prozesse der Wahrnehmung werden von den Vertretern des Radikale Konstruktivismus so interpretiert, dass sie die erkenntnistheoretische Position des Radikalen Konstruktivismus unterstützen. In ihrem Buch „Der Baum der Erkenntnis“ (Maturana/Varela 1987: 146) wehren sich H. Maturana und F. Varela gegen den Vorwurf des Solipsismus. Aus dieser Sicht wird betont, dass die Wahrnehmung der Außenwelt durch Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten nicht auf direktem Weg möglich sei. Es sind allein Perturbationen durch die Außenwelt realisierbar. Wenn also durch die Außenwelt nur Störungen möglich sind, bedeute dies, dass es unmöglich wäre Wissen über diese Außenwelt zu bekommen. Es sei unmöglich zu erfahren wie die „Dinge an sich“, wie I. Kant es formulierte, sind, wenn unsere Sinnesorgane nur Perturbationen hervorrufen. Der solipsistisch zugespitzte bzw. verabsolutierte Radikale Konstruktivismus, den Maturana und Varela nicht vertreten wollen, stellt somit die Erkennbarkeit der Welt, die Gewinnung, wenn auch nur relativer Wahrheit, generell in Frage. Er trägt damit, im Zusammenwirken mit dem Relativismus und Skeptizismus postmodernen Denkens zur Zerstörung der Vernunft bei.

In der Tat kann davon ausgegangen werden, dass bei der hohen Komplexität des lebenden Organismus sowie der Höchstkomplexität des menschlichen Gehirns die Einwirkungen der Umwelt auf die lebenden Organisationen eher Störungen denn sinnvolle Informationen für diese sind. Eben deshalb betonen auch wir die interne Informationsentstehung im Lebenden, im Unterschied zu technisch-kybernetischen Systemen. Das Schema von Maturana zeigt jedoch deutlich, dass die interne Informationsentstehung auf der Grundlage von Signalen erfolgt, die allerdings aus verschiedenen Quellen kommen. Das ist es, was für die Ontogenese auch erst nachgewiesen werden musste.

Entscheidend ist aber vor allem, wie schon für die Phylo- und Ontogenese nachgewiesen wurde, dass der Zufall nicht nur als störendes Rauschen, wie in der Nachrichtentechnik üblich, verstanden wird. In den Lebensprozessen hat der Zufall auch ein aufbauendes Moment (Fuchs-Kittowski 1969/1976). In den Prozessen der Selbstorganisation tritt der Zufall in Einheit mit der Notwendigkeit im objektiv Möglichen auf. M. Eigen schreibt, gegen die These vom absoluten Zufall von Jacques Monod gerichtet, die Entstehung des Lebens ist ein Spiel, aber ein Spiel nach Regeln (Eigen/Winkler 1975). In seinem Vorwort zum Buch von J. Monod (Eigen 1973) betont M. Eigen, dass mit dem Selektionsprozess das Moment der Notwendigkeit zu dem durch zufällige Mutationen ausgelösten Entwicklungsprozess hinzutritt (siehe auch Fuchs-Kittowski/Rosenthal 1972, Mayr 1979).

Die eintreffenden Signale bzw. sensorischen Daten sind weder ein direkter Spiegel der realen Welt im menschlichen Geist, wie dies vom naiven Realismus angenommen wird, noch liefern sie dem Geist die Grundlage für eine Erfindung der Realität, wie dies in der Metaphysik des Idealismus in der einen oder anderen Form angenommen wird. Noch weniger ist

anzunehmen, dass es sie gar nicht gibt, und alles frei erfunden wird. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass der menschliche Geist die Welt über einen konstruktiven Prozess zu erfassen bekommt.

Bereits Immanuel Kant postulierte einen konstruktiven Prozess, durch den die sensorischen Eindrücke zu Erfahrungen werden, indem sie für uns Bedeutungen bekommt, und zwar nur, nachdem der Geist sie interpretiert hat durch a priori Kategorien – wie Zeit, Raum und Objekt, die folglich der Geist zur Erfahrung hinzubringt, eher als sie daraus zu gewinnen. Nun wissen wir heute, dass Raum und Zeit, Kausalität, keine Kategorien a priori sind. Wie von uns, in Auswertung der am Strukturalismus orientierten erkenntnistheoretischen Überlegungen von Max Delbrück (Delbrück 1985) schon in vorangegangenen Artikeln herausgearbeitet wurde (Stary/Fuchs-Kittowski 2020, Stary/Fuchs-Kittowski 2022).

Wir gehen davon aus, dass Wissen über die Welt in unseren Geist nur in hoch abstrahierter Form, als abstrakte Struktur eintritt. Daran setzt dann, wie in unserem Schema verdeutlicht wird, der Prozess der Bedeutungsbildung an – ein konstruktiver Prozess durch Bedeutungen vermittelter Struktur-Funktions-Wechselwirkung, mit Bewertung der Funktion inklusive ihrer Realisierung.

Die Befunde von Huberto Maturana sollten philosophisch daher nicht im Sinne des Radikalen Konstruktivismus interpretiert werden, denn sie stützen sehr deutlich die erkenntnistheoretische Position eines konstruktiven Realismus.

Es sei auch noch angemerkt, dass es auf der geistigen Ebene keinen Schutz vor falschen Informationen, wie dies auf der molekularen Ebene das Zentraldogma zusichert, gibt. Die Gesellschaft muss daher für einen Schutz vor falschen Ideologien, vor Fake News aller Art sorgen.

3. Die Praxis als Grundlage der Informationsentstehung und Werteentwicklung

3.1. Die zwei unterschiedlichen Denkrichtungen der Kybernetik und die Theorie der Selbstorganisation zur Informationsentstehung

Rückblickend kann man heute generell sagen: „Die Kybernetik lieferte von Beginn an zwei nebeneinander bestehende grundlegende Orientierungen“ (siehe die Erklärung der American Society for Cybernetics (Glaserfeld 1997: 238–245)).

1. Die erste Orientierung ergab sich aus der Planung technischer Systeme, die zugleich Modelle für intelligente Prozesse lieferten. Daraus entwickelte sich das Gebiet der Künstlichen Intelligenz.

2. Die zweite Orientierung hat sich auf die allgemeinen Fragen des menschlichen Wissens konzentriert. Im Rahmen der Theorie der Selbstorganisation hat dies zu einer umfassenden Theorie der Kognition für lebende Organismen geführt (Maturana und Varela 1980) sowie zu einer Theorie der Wissenskonstruktion, die der Absurdität des Solipsismus und den Widersprüchen des naiven Realismus entgegen kann.

Diese Feststellung in der Erklärung der American Society for Kybernetik „Die Kybernetik lieferte von Beginn an zwei nebeneinander bestehende grundlegende Orientierungen“ ist für unsere gegenwärtige Diskussion um die Möglichkeiten und Grenzen der KI-Systeme von besonderem Interesse. Denn die erste Richtung gewann, (als Kybernetik 1. Und 2. Ordnung im Sinne von Heinz von Förster) für die Entwicklung der Automatisierung immer mehr an Bedeutung. Die zweite Richtung gewann insbesondere mit ihrer Kritik am Denkmodell Automat in Anwendung auf den Menschen (Fuchs-Kittowski 2007) mit ihrer Theorie der Kognition im Rahmen der Theorie der Selbstorganisation in vielen Wissenschaften an Einfluss.

Die erste Denkrichtung war die Grundlage für die Entwicklung von Robotern und vielen anderen Automaten. Computersysteme haben ihrerseits zur Entwicklung von

Funktionssystemen mit mehr oder weniger technischer Intelligenz geführt. Dabei ist die Kybernetik eine entscheidende theoretische Grundlage der Automatisierung. Sie ist heute als Kybernetik I und dann als Kybernetik II. Ordnung (im Sinne von Heinz von Förster) zu einer umfassenden Basis für die zeitgemäße Automatisierung mit hierarchischen Strukturen, deren dezentraler Digitalisierung durch Mikro-Computersysteme und digitale Mehrebenen-Vernetzung (Kommunikation) unter Einsatz Künstlicher Intelligenz sowie intelligenter, direkt buskoppelter Sensorik und Aktuatorik herangewachsen (vgl. Kriesel/Hofmann 2020).

Für die zweite Denkrichtung ist festzustellen: Auf der Grundlage der (bio-)physikalischen Theorien zur Selbstorganisation der Materie und der Chaostheorie wurde es möglich, die Prozesse der Evolution als Prozesse der Höherentwicklung zu verstehen. Der Entwicklungsgedanke stand immer in Gefahr, durch Prädetermination oder Teleologie verstellt zu werden. Diese Positionen sind damit grundsätzlich überwunden. Die verschiedenen Varianten der Theorien der Selbstorganisation, zusammengefasst unter dem Begriff Autologien, geben somit auch eine weltanschauliche Orientierung. Es ist naturwissenschaftlich erwiesen: Entwicklung zu höheren Stufen der biologischen Evolution haben sich vollzogen, Entwicklungen zu höheren Formen gesellschaftlicher Organisation sind möglich. Höherentwicklung im Lebenden und Sozialen, in der geistig-kulturellen Entwicklung der Menschheit ist immer mit der Entstehung von neuer Information und der Bildung neuer Werte verbunden.

Diese, auf der Grundlage der Theorie der Selbstorganisation (den verschiedenen Autologien) hervorgerufene Wissenschaftsentwicklung, hat auch zur Weiterentwicklung der Erkenntnistheorie beigetragen, zu einer Theorie der Entstehung von Information und Wissen, mit der die falschen Alternativen naiver Realismus oder solipsistischer Konstruktivismus¹ überwunden werden können. Wir haben diese Position in verschiedenen Arbeiten konstruktiver Realismus genannt (Stary/Fuchs-Kittowski 2020, Stary/Fuchs-Kittowski 2022).

Dies steht insbesondere der pessimistischen Denkhaltung der fast zur gleichen Zeit entstandenen postmodernen Philosophen, speziell in ihrem Verständnis der Beziehung von Individuum und Gesellschaft, entgegen.

Dabei ist auch die Erkenntnis wichtig, dass sich auf der Grundlage des Einflusses der Autologien ein tieferes Verständnis der Wechselbeziehungen zwischen Individuum und Gesellschaft herausgebildet hat. In der Geschichte der Philosophie haben sich zwei Grundlinien herausgebildet. Zum einen die Linie Hobbes – Stirner – Nietzsche – Heidegger – Postmoderne, bei der das Selbst als etwas Abschließendes, Autonomes gesehen wird, und zum anderen die alternative Auffassung, die Linie Aristoteles – Kant – Hegel – Marx, bei der das Individuum, das Selbst, als die schöpferisch gestaltende Kraft der Gesellschaft und damit sich selbst, gesehen wird.

Auf der Grundlage der durch die Autologien, die verschiedenen Theorien der Selbstorganisation beeinflussten Theorienbildung wird also im Gegensatz zu anderen Strömungen in der vorangegangenen und gegenwärtigen Philosophie, das Individuum, das Selbst, als die schöpferisch gestaltende Kraft der Gesellschaft und damit sich selbst, gesehen und betont. Es ist hierfür aber wichtig, aufzuzeigen, dass sich der Begriff der Selbstorganisation, der in beiden Denkrichtungen genutzt wird, durchaus unterscheidet. In der technikorientierten handelt es sich um eine Selbststrukturierung durch Informationszuführung von außen, einer sich an den Lebensprozessen Orientierung um

¹ Der Radikale Konstruktivismus leitet aus der Betonung der Erzeugung subjektiver Realitäten im Nervensystem und damit des „Eigenwert“ des kognitiven Systems als Ergebnis von Rekursionsprozessen, eine Erkenntnistheorie ab, die in ihrer extremen Form den Begriff einer objektiven Realität eliminiert.

Selbstorganisation im eigentlichen Sinne des Wortes, verbunden mit interner Informationsentstehung und Wertbildung. In mehreren Gesprächen hat Heinz von Förster, der nach Ross Ashby wesentlich zur Einführung des Begriffs Selbstorganisation in die Kybernetik beigetragen hat, dieser Unterscheidung zugestimmt.

Grundlage für die Informationsentstehung und Werteentwicklung in der menschlichen Gesellschaft ist die Praxis, im philosophischen Verständnis, die menschliche Lebenstätigkeit im Allgemeinen, die tätige Auseinandersetzung des Menschen mit der ihn umgebenden Wirklichkeit. Die Anerkennung der Praxis als praktisch verändernde, sinnlich konkrete Tätigkeit, als Grundlage der Erkenntnis und Kriterium der Wahrheit in der Philosophie, geht auf die Feuerbachthesen von Karl Marx zurück. Zur Praxis zählt alles lebensweltliche Handeln der Menschen, außer den sinnlich verändernden, auch die geistigen Tätigkeiten, wie Programmieren, juristische, religiöse oder künstlerische Tätigkeiten. (Erpenbeck/Sauter 2019: 78)

John Erpenbeck und Werner Sauter betonen in ihrem Buch ‚Wertungen und Werte‘, dass ihre Erkenntnisse zur gezielte Werteentwicklung von Persönlichkeiten auf grundlegenden Erkenntnissen der Selbstorganisationstheorie und der Neurobiologie (Erpenbeck/Sauter 2019) beruhen. In einem speziellen Abschnitt zum Thema „Selbstorganisation und gezielte Werteentwicklung“ weisen sie daraufhin, dass Werte keine Informationen sind, sondern, wie wir ebenfalls betonen, Informationen steuern. „Werte und Ordner“ bestimmen oder zumindest beeinflussen „die individuell-psychologische und sozialkooperative Selbstorganisation. (Erpenbeck/Sauter 2019: 228)“ Zuvor heißt es: „Selbstorganisatorische Systeme sind zwar nicht informationell unabhängig, aber im Sinne von Selbstgestaltung, -lenkung und -entwicklung selbstbestimmt gegenüber der Umwelt. Ebenso wie das ganze System sind auch seine Werte nicht nur an die Umwelt angepasst, sondern entwickeln sich gemeinsam mit dieser Koevolution. Die Wichtigkeit von Werten als Ordnern selbstorganisierenden Handelns ergibt sich aus der beschränkten Vorhersagbarkeit der Handlungsergebnisse, ihrer Redundanz.“ (Erpenbeck/Sauter 2019: 127–128)

Also auch das Wertesystem entsteht in der Entwicklung. Wir sind somit wieder bei unserem Grundmodell der Informationsentstehung, dem verallgemeinerten Hyperkreis. Zum Hyperkreis der Lebensentstehung sagte M. Eigen, der lernende Automat bekommt seine Information und sein Wertesystem von außen, in der Evolution muss beides innen entstehen.

3.2. Interaktionssysteme zur Unterstützung kreativer Tätigkeiten

Schöpferisch Denken, wirklich neue Informationen und Wissen schaffen, können alle diese Systeme nicht. Sie können aber schöpferische Arbeit (Problemlösen) unterstützen, denn auch kreative Tätigkeiten haben formalisierbare und damit durch Automaten ausführbare Anteile. Dies wird mit folgendem Schema (Fuchs-Kittowski 2007: 151) veranschaulicht. Ein Problem liegt vor, wenn eine Wissenslücke besteht, die durch keinen Algorithmus geschlossen werden kann, das erforderliche Wissen zur Schließung der Wissenslücke durch Überlegungen oder Experiment erst geschaffen werden muss. Gibt es einen Algorithmus, durch den das erforderliche Wissen zur Schließung der Wissenslücke bereitgestellt werden kann, liegt eine Aufgabe vor. Aufgrund der Wissenslücke sind Problemlösungsprozesse, schöpferische Tätigkeiten, entgegen vielfach anderslautender Behauptungen, nicht durchgehend automatisierbar. Da sie aber auch mit Routinetätigkeit sowie mit schematischen und nicht-schematischen Aufgaben verbunden sind, können auch schöpferischen Tätigkeiten durch entsprechende Interaktionssysteme unterstützt werden (siehe Abbildung).

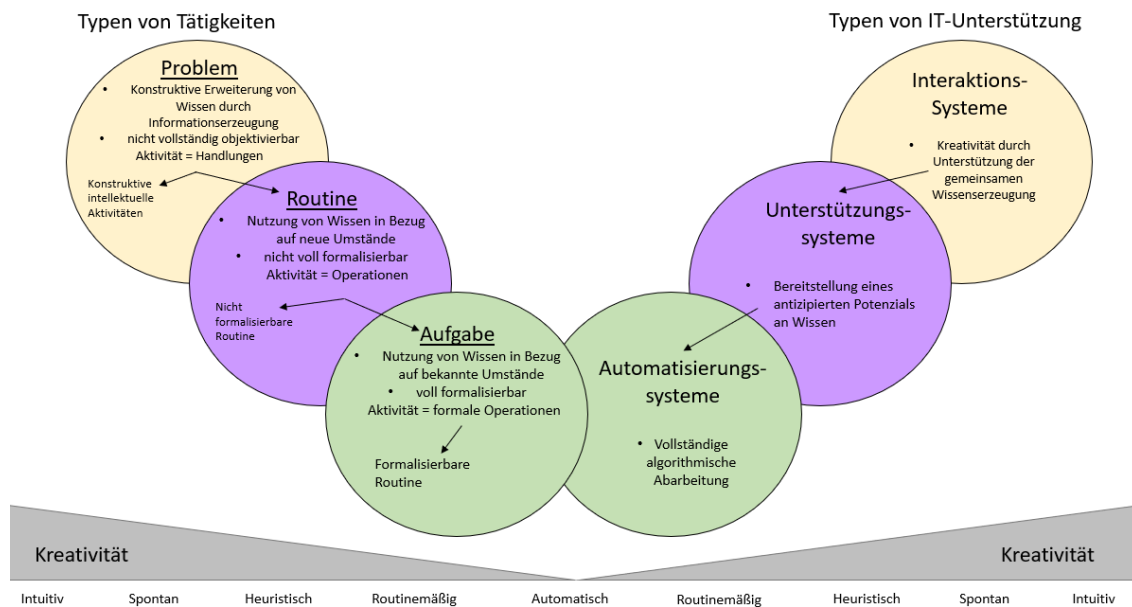


Abb.5: Typen der IT-Unterstützung bei Tätigkeiten in der Wissensarbeit (eigene Darstellung nach Fuchs-Kittowski 2007)

Die Abbildung zeigt Typen der IT-Unterstützung der Tätigkeiten in der Wissensarbeit. Die Unterscheidung der Typen von Tätigkeiten erfolgt entsprechend des Anteils an schöpferischen Aktivitäten bzw. des Formalisierungsgrades.

Mit dem Chatbot ChatGPT oder seinem Large Language Modell ((LLM), diesem lernenden Sprachmodell werden aus Hundert Milliarden Daten – aus bestehenden Texten – aus dem Internet, für den Nutzer neue Texte generiert. Auf der Grundlage aufgefundener Muster lernen diese Systeme eigene Texte zu generieren.

Hier sind wir wieder beim Konzept des Präformismus, wie es auch von Leibniz vertreten wurde. Bei unendlicher Kontinuität, bei der Abstraktion von Diskontinuität in den Entwicklungsprozessen, ist auch eine quasi unendliche Kombination aller Elemente denkbar. Der quasi fertige Mensch, ein Homunkulus, sitzt in der Keimzelle, alle Entwicklung ist nur Entfaltung des schon Vorgegebenen. Es kommt nichts prinzipiell Neues hinzu. Es sei, man glaubt an Gullivers Experiment. Es lassen sich verschiedene Typen zukünftiger Arbeitssysteme auch entsprechend ihrer technologischen Intensität und sozialen Intensität (Fuchs-Kittowski 2020) bzw. dem Grad der Automatisierung und dem Grad der menschlichen Einbindung an schöpferischer Tätigkeit unterscheiden (Fuchs-Kittowski 2007).

Bei näherer Untersuchung der automatisierungstechnischen Skala von der Handarbeit bis zur Vollautomatisierung in einer globalisierten Produktion (Krüger spricht von einem Kontinuum) (Krüger 2018) lassen sich verschiedene Typen zukünftiger Arbeitssysteme entsprechend ihrer technologischen und sozialen Intensität unterscheiden. Für die Automatisierung in der Industrie 4.0 ist heute der Typ künftiger Arbeitssysteme von besonderem Interesse, der auf der Grundlage moderner KI-Systeme, speziell autonomer Roboter, realisiert wird, sodass die besseren sensomotorischen und kognitiven Fähigkeiten des Menschen, seine Kreativität mit der wesentlich höheren Geschwindigkeit, Exaktheit und Wiederholbarkeit der maschinellen Operation sinnvoll im Sinne einer hybriden Automatisierung kombiniert werden.

In „Informationssystem-, Arbeits- und Organisationsgestaltung in Produktion und Verkehr“ (Fuchs-Kittowski 2020) haben wir eine Typisierung künftiger Arbeitssysteme

vorgestellt und darauf verwiesen, dass KI-Systeme den Typ der hybriden Automatisierung prägen werden.

Speziell in diesem Kontext geht es um die ausgewogene und schlüssige Kombination der jeweils spezifischen Leistungsfähigkeit von Mensch und Automat. Hierzu wird eine Unterscheidung zwischen maschineller (syntaktischer) Informationsverarbeitung und menschlicher (semantischer) Informationsverarbeitung des schöpferisch tätigen Menschen besonders wichtig. Diese Möglichkeit der Unterscheidung zwischen den jeweils spezifischen Fähigkeiten geht jedoch verloren, wenn jetzt im Zusammenhang mit der Generativen KI vom Zusammenwirken von menschlicher Kreativität und rechnerischer Kreativität bzw. von „methodologies to combine human creativity with computational creativity“ (Brocke/Maaß/Buxmann/Maedche/Leimeister/Pecht 2018) gesprochen wird.

Die immer kürzer werdenden Entwicklungszyklen intelligenter mechatronischer und cyberphysischer Systeme verlangen eine ständige Weiterqualifikation der Arbeitenden. Das neuartige Zusammenwirken von adaptiven Systemen höherer Stufe, den sog. autonomen Robotern, die als intelligente Systeme neue Interaktionsmuster und Fähigkeiten realisieren können, verlangt auch von den Arbeitenden eine neue Qualität der Interaktion. Heute weiß man aber, dass insbesondere aus ökonomischer Sicht die Höhe des Automatisierungsgrades durch die Flexibilität der Roboter begrenzt wird (Spath 2013). Die intelligenten Maschinen und die autonomen Robotersysteme haben Möglichkeiten zur Anpassung an den Menschen. Dies verlangt jedoch zugleich auch neue Formen der Anpassung seitens der Arbeitenden. Es können sich somit Formen einer Koevolution herausbilden. In diesem Prozess wird die Generativ KI, wie die Autoren betonen, wahrscheinlich eine wichtige Rolle spielen können, denn es treten neue Fragen auf, wie es für zu lösende Routineprobleme typisch ist. Sollen neu auftretende Aufgaben automatenunterstützt gelöst werden, bedarf es eines zuvor schon bestehenden Potentials an entsprechenden Operatoren und Daten.

Schöpferisch sein mit dem Computer, und auch die Nutzung von ChatGPT zur Unterstützung der schöpferischer Arbeit, so dass, wie die Autoren schreiben der GO-Spieler, der Maler vielleicht sogar der Poet usw. seine Leistungen verbessern kann, heißt aber nicht, wie es eingangs des Artikels formuliert wird: „For a long time in history, it has been the prevailing assumption that artistic, creative tasks such as writing poems, creating software, designing fashion and composing songs could only be performed by humans. This assumption has changed dramatically with recent advances in Artificial Intelligence (AI) that can generate new content in ways that cannot be distinguished anymore from human craftsmanship.“ (Spath 2013: 111) Wie in obiger Abbildung gezeigt, gibt es nichts rein Schöpferisches.

Jede schöpferische Tätigkeit enthält algorithmisch bearbeitbare Aufgaben, enthält Routinen mit schöpferischen Anteilen, da neue bisher unbekannte Aufgaben auftreten, zu deren Bewältigung ChatGPT sich gut eignen wird. Aber eben, wenn ChatGPT beispielsweise im Rahmen der hybriden Automatisierung sinnvoll eingesetzt werden soll, ist deutlich zwischen den verschiedenen Arten von Neuem zu unterscheiden. Für Nutzer*innen kann neue Information schon geliefert werden, und zwar durch die Bereitstellung vorhandener Informationen (Recherche), durch deren Verdichtung (Verarbeitung) sowie durch deren Kombination (Generierung). Eine für alle wirklich neue Information erfordert aber eine kreative Leistung des Menschen oder der Natur. Walter Elsasser machte deutlich, dass der Begriff Kreativität für die Naturwissenschaft wenig aussagt, und daher durch den Begriff der Informationsentstehung zu präzisieren ist (Elsasser 1986).

Jeder Mensch, auch bei einer im Prinzip durch Automaten voll ersetzbaren Tätigkeit, kann kreativ sein, indem er über die Verbesserung seiner Tätigkeit nachdenkt. Solche voll automatisierbaren Tätigkeiten sind aber von Routinetätigkeiten und wirklich schöpferischen Tätigkeiten zu unterscheiden. Hier muss man genauer wissen, wie durch Automaten bzw.

KI-Systeme kreative Tätigkeiten des Menschen unterstützt werden können. Es gilt, die Koppelung von maschineller (syntaktischer) und menschlicher (semantischer) Informationsverarbeitung, die verschiedenen Möglichkeiten einer sinnvollen Verbindung von maschineller Exaktheit und Geschwindigkeit mit menschlicher Intuition und Empfindsamkeit genauer zu untersuchen und zu beachten.

Im Arbeitssystem (Typ D im Schema von (Fuchs-Kittowski 2020)) der hybriden Automatisierung kann die Steuerungssoftware auf Grund ihrer Vernetzung mit anderen Programmen im Internet Lösungen für die Behebung von Störungen und Unterbrechungen selbst generieren. Aufgrund des emergenten Charakters dieser Lösungen besteht aber die Gefahr, dass vorgegebene Produktions- und Dienstleistungsziele verfehlt werden. Daher muss der Mensch das Prozessgeschehen überwachen und unter Umständen regulierend eingreifen können. Allerdings ist bisher unklar, wie und unter welchen Bedingungen der Mensch im System D eine adäquate „situation awareness“ im Sinne von M. R. Endsley bilden kann (Endsley 2000, Rothe 2020).

Wir sind also hier wieder bei dem besonders entscheidenden Punkt. Um eine adäquate „situation awareness“ gewährleisten zu können, muss die sigmatische Dimension der Information entsprechend beachtet werden, unter anderem durch Koppelung des generativen KI-System an eine aktuelle Datenquelle. Entscheidend ist jedoch: Der Mensch muss Subjekt in diesem neuen Zusammenwirken mit dem Computer sein und bleiben.

4. Entstehung von Information aus der Sicht des organisationalen Wissensmanagements als praktische Sigmantik

Wenn wir die Entstehung von Information als Verortung zur Wissens(v)ermittlung und Handlungsvollzug im organisationalen Kontext verstehen wollen, korreliert sie mit dem Finden von semantischem Gehalt aus Daten, und schließlich der Handlungsbefähigung (Know-How) (North 2021). Die Informationsentstehung bedeutet eine Erkenntnis die in Handlungsbefähigung mündet, ohne dass sie sich selbst in Frage stellt. In der Folge reflektieren wir die Relevanz dieser Praxis des Erkennens und Festlegens von Bedeutung. Diese kann vom Beobachten und Erkennen von Objekten als Informationsträger im Blickwinkel eines Betrachters, also in gewisser Weise direkt von einem betrachteten Objekt abgeleitet werden. Sobald der Erkenntnisvorgang in den Hintergrund rückt, wird die Entscheidung über die Bedeutung in gewissem Sinn ‚in das betrachtete Objekt‘ gelegt. Die Entstehung von Information wird somit durch die Objektrelevanz geprägt.

Die Bedeutung von Objekten selbst kann aus dem primären Schaffenszweck abgeleitet werden und/oder das Ergebnis von Konstruktionsprozessen sein. Diese Prozesse geschehen durch Objektschaffende oder/und Betrachter, welche die im Objekt vorhandenen Informationen erschließen und auch gesellschaftlich etablieren können. Sie entstammen auch dem ‚sozialen Leben‘ eines Objekts, also spezifischen kulturellen und historischen Milieus (Lüthi/Niedermeier/Lee 2018), und können nur gemäß der bestehenden persönlichen Erfahrungen und Expertise des Einzelnen wahrgenommen werden (Vester 1975). Diese stellen die Basis für das Erkennen und damit der Erfassung von Bedeutung dar – diese ist folglich ein Vorgang, etwas bereits Verinnerlichtes mit etwas Erkanntem Umwelt in Beziehung zu setzen. Die erfasste Bedeutung hilft Menschen bei der Orientierung in der Welt (Dilthey 1984).

Wesentlich ist bei Erschließung von Bedeutung das Instrumentarium, das diesen Prozess begleitet, also ‚was Besuchern im Moment der Begegnung mit dem Objekt alles für ihre Bedeutungskonstitution zur Verfügung steht: all das, was sie im Moment der Rezeption wahrnehmen, lesen oder ausgehend von dem Gesehenen und Gelesenen an Verstehenskontexten aktivieren können. Das hat weitreichende Folgen für die Analyse. Die relevante Analysefrage

lautet dann nämlich, welche kommunikativen Erscheinungsformen dafür verantwortlich sind, dass ein bestimmtes Objekt als etwas Natürliches oder etwas Menschgemachtes (ein Artefakt) [...] verstanden wird‘ wie Kesselheim die Erkenntnisse von Studien im Rahmen von Ausstellungen zusammenfasst (Kesselheim 2021: 46).

Informationsentstehung als Konstrukt zur Gewinnung von Bedeutung und Wissen besitzt folglich einen an reale gesellschaftlich institutionalisierte Aspekt zur (V)Ermittlung von Wissen in bestimmten Situationen (wie beispielsweise in einer Arbeitsorganisation), sowie eine fachlichen Bezug, der uns wieder in die Nähe von Objekten, also zur Objektrelevanz führt. Beide Aspekte ‚legitimieren‘ die Entstehung und das Erkennen von Bedeutung. Es stellt sich folglich die Frage, wie die Informationsentstehung beobachtet bzw. der Prozess des Erkennens von Bedeutung als menschliche Praxis er/fasst und in weiterer Folge beschrieben werden kann, zumal der Prozess selbst als Denkvorgang nicht sichtbar ist (Hampe 2006).

Das Erkennen von Bedeutung und damit die Entstehung von Information kann als Selbstorganisation aufgefasst werden, die sich im Beobachten und Selbstbeobachten, im Denken und in Kommunikation als Praxis konstituiert. Denken konstituiert sich dabei als ergebnisoffene Praxis – eine Praxis, die nicht in dem Sinn auf Wissen fixiert wird, von der die Teilnehmer*innen den Anspruch erheben, vorher wissen zu wollen, was sie hinterher wissen werden (Hoppe 1988/1999). Vielmehr vollzieht sich im Erkennen eine ‚Formung und Ordnung von Leben‘ (nach Lessing in Böhm 1986: 81). Erkennen im Sinne einer ‚Wesensschau‘ oder eines ‚Wesenswissens‘, das sich zur ‚schauenden Vernunft‘ eignet. Diese ‚schauende Vernunft‘ besitzt sowohl Erkenntniskraft ‚im Hinblick auf die Dimension der Intelligibilität‘ als ‚auch auf die des ‚Lebens‘‘ (ebenda).

Sie ist allerdings strukturdeterminiert: ‚Bei der Interaktion zwischen dem Lebewesen und der Umgebung innerhalb dieser strukturellen Kongruenz [zwischen Lebewesen und Umgebung] determinieren die Perturbationen der Umgebung nicht was dem Lebewesen geschieht; es ist vielmehr die Struktur des Lebewesens, die determiniert, zu welchem Wandel es infolge der Perturbation in ihm kommt.‘ (Maturana/Varela 1984: 106.) Damit wird Erkennen von Bedeutung zu einem aktiven Vorgang – Lebewesen passen sich nicht an ihre Umgebung an, sondern gestalten gemäß der ihnen eigenen Struktur ihre Umgebung. Diese, nach innen gerichtete Sicht, im Sinne des radikalen Konstruktivismus, geht damit auf individuelle Prozesse der Informationsentstehung ein, d.h. wie wir die Welt als Individuen ‚bedeuten‘.

Handlungsbefähigung (Know-how oder Können) erfordert nach der Konzeption von Selbstorganisation ‚leibliche (sensomotorische) Strukturen‘, welche die ‚Substanz der Erfahrung‘ darstellen (Varela 1994: 23), und zwar nicht nur für motorische Fähigkeiten, sondern auch für das Erkennen und den Umgang mit Bedeutung. Bedeutung stellt folglich eine Verkörperung dar: ‚Erkennen besteht mithin nicht aus Repräsentationen, sondern aus verkörpertem Handeln. Entsprechend müssen wir festhalten, dass die uns bekannte Welt uns nicht einfach vorgegeben ist, sondern durch die Geschichte der von uns vollzogenen strukturellen Verknüpfungen erhandelt wird, und dass die zeitlichen Wendepunkte, an denen solche Handlungsvollzüge einsetzen, in einer Vielzahl von alternativen Mikrowelten wurzeln, die in jeder Situation aktiviert werden können. Diese Alternativen sind der Ursprung sowohl des Alltagsverstands als auch der Kreativität unseres Erkennens.‘ (Varela 1994: 25.)

Der Erkenntnisprozess als Verkörperung ist in einer bestimmten Situation verankert: ‚Wir operieren immer in der Unmittelbarkeit einer gegebenen Situation‘ (Varela 1994: 16). Sie stellt eine ‚Mikrowelt‘ dar, die mittels einer Handlung, dem Erkennen erfahren wird: ‚Die Welt ist uns nicht einfach gegeben, sondern sie ist etwas, auf das wir uns einlassen, in dem wir uns in ihr bewegen, sie anfassen, einatmen und essen. Aus diesem Grund spreche ich gern vom Erkennen als Vollzug.‘ (Varela 1994: 15.) Somit stellt das Handeln in einer

Situation zugleich einen Erkenntnisprozess dar, der sich in gleichem Sinn „konkret“ wie die erfahrene Welt selbst darstellt. Sobald wir folglich die Welt „bedeuten“, vollzieht sich durch Handeln in der durch Individuen erfahrenen Welt ein Erkenntnisprozess, in der Information als eine spezifische, über Bedeutungen organisierende Wirkung auftritt, also wirksam wird.

Anstelle einer der für die Informationsverarbeitung typischen Rekonstruktion von Eigenschaften der Welt aus den Wahrnehmungs‘daten‘ (sic!) tritt bei der Vollzugsorientierung die Steuerung der jeweiligen Handlungen in konkreten Situationen durch die wahrnehmende Person. – „Jedes Tun ist Erkennen, und jedes Erkennen ist Tun.“ (Maturana/Varela 1984: 32) Auch durch den Sprachvollzug kann somit Bedeutung erschlossen werden: „Die Bedeutung eines Wortes ist sein Gebrauch in der Sprache.“ (Wittgenstein 1984: PU§43) Die individuelle Bedeutungserfassung führt nicht nur zu einer Vielfalt an wahrgenommenen Bedeutungen, sondern stellt die Grundlage für Denken dar: „Wie soll ich wissen was ich denke, bevor ich wahrnehme was ich sage.“ (Weick 1985: 195.)

„Da sich die konkrete Situation aufgrund des Handelns des Wahrnehmenden laufend verändert, gibt es keine vom Wahrnehmenden unabhängige, vorgegebene Welt, sondern nur die senso-motorischen Strukturen des kognitiven Akteurs (...) Es ist diese Struktur – die leibliche Beschaffenheit des Wahrnehmenden – und nicht etwa eine vorgegebene Welt, die bestimmt, auf welche Weise der Wahrnehmende handelt und durch die Ereignisse in seiner Umgebung beeinflusst wird. Das vorrangige Anliegen des vollzugsorientierten Ansatzes besteht demnach nicht darin herauszufinden, wie sich eine vom Wahrnehmenden unabhängige Welt rekonstruieren lässt, sondern in der Untersuchung der gemeinsamen Prinzipien oder gesetzmäßigen Verbindungen zwischen sensorischem und motorischem System, die erklären, wie wahrnehmungsgelitetes Handeln in einer vom Wahrnehmenden abhängigen Welt möglich ist.“ (Varela 1994: 20.) Strukturen, die schließlich der organisierenden Wirkung der Bedeutung zugrunde liegen, unterliegen somit der Interpretation der Wahrnehmenden.

„Also findet eine fortschreitende In-Beziehung-Setzung zwischen den immer tiefer gelegenen und von der Realität entfernteren Zonen mit den immer intimeren Operationen der eigenen Aktivität statt. Die Intelligenz beginnt so weder mit der Erkenntnis des Ich noch mit der der Dinge als solchen, sondern mit der Erkenntnis ihrer Interaktion und sie organisiert die Welt und sich selbst, indem sie sich gleichzeitig den beiden Polen dieser Interaktion zuwendet.“ (Piaget 1974: 339.) Es erfolgt folglich die Interpretation von wahrgenommener Information im Sinne der Bedeutungsfindung entlang der individuellen Auseinandersetzung mit den wahrnehmbaren Dingen.

Malhotra (Malhotra 2004) hat die Erschließung von Bedeutung im Wissensmanagement im Wechselspiel mit Handlungen verortet und im sogenannten „Model 2“ die erforderliche aktive Bereitschaft zur Wahrnehmung als Erkenntnisprozess der Bedeutung unterstrichen – Attention / Motivation / Commitment verdeutlichen dies. Die Abbildung zeigt Wissensmanagement-Aktivitäten im Rahmen von nicht vorstrukturierten Routinen und Sinnfindungsprozessen. „Wenn Bedeutung der Gebrauch ist, hat es keinen Sinn, von Passen zu reden. Das Erfassen der Bedeutung geschieht mit einem Schlage und sicher etwas anderes als der zeitlich ausgedehnte Gebrauch.“ (Wittgenstein 1984: PU§138.)

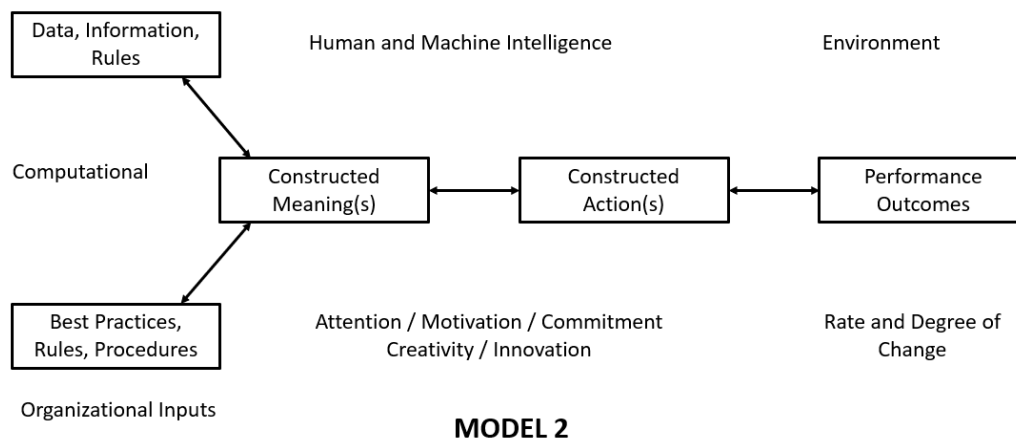


Abb. 6: Wissensmanagement-Aktivitäten bei nicht vorstrukturierten Routinen und Sinnfindungsprozessen (eigene Darstellung nach Malhotra 2004)

(Normative) Vorgaben zur Festlegung von Bedeutung bringen nicht die Vielfalt an Möglichkeiten von selbst-organisierenden Wahrnehmenden hervor (Axelrodt 1991), wie im „Model 1“ von Malhotra (Malhotra 2004) angesprochen. Die Kunst ist vielmehr, mit nicht festgelegter Bedeutung, mit Mehrdeutigkeit und Uneindeutigkeit umzugehen. Das Spiel mit Bedeutungen kann zu Konventionen führen, die einen einheitlichen (aber nicht vorgeschriebenen) Gebrauch mit sich bringen, der als Bedeutung beobachtbar wird: „Konventionen werden darin nun verstanden als: Koordinationslogiken, die Akteurinnen und Akteure in Situationen heranziehen können, um 1) Praktiken, Objekte und Prozesse sinnhaft zu deuten, um 2) angemessene Formen der Koordinationen gelingen zu lassen, zu legitimieren oder zu kritisieren, sowie um 3) als Rahmen für die Bewertung und die Zuerkennung von ‚Wertigkeit‘ und ‚Qualität‘ zu fungieren. Konventionen sind damit nicht gleichzusetzen mit Routinen, mit einfachen Standards des Verhaltens oder mit Bräuchen. Sie sind als Logiken für die Interpretation, Koordination und Bewertung vielmehr institutionentheoretisch deutbare Realitäten. Zudem ziehen Akteurinnen und Akteure Konventionen heran, um auch den Sinn (die Bedeutung) und die situative Handhabung von Regeln und formalen Vorgaben pragmatisch je für sich zu entscheiden.“ (Diaz-Bone 2022: 475.)

Die derart gestaltete Erfassung von Bedeutung nennt Weick treffend ‚Produktion von Mehrdeutigkeit‘ (in der Selbstorganisation als Perturbation bezeichnet) und braucht Mechanismen, die sich durch Ziel- und Mittelielfalt bei Abstimmungsprozessen zur Kooperation in Kollektiven auszeichnen – siehe Abbildung nach Weick (Weick 1985: 134). Mit Hilfe von Selektion kann die Mehrdeutigkeit reduziert werden und in eine kollektive Struktur durch Speicherung unter Berücksichtigung von Glauben, Gefühlen und Denkprozessen eingehen (Retention). Auf diese Struktur bauen die weiteren selbstorganisierenden Prozesse auf.

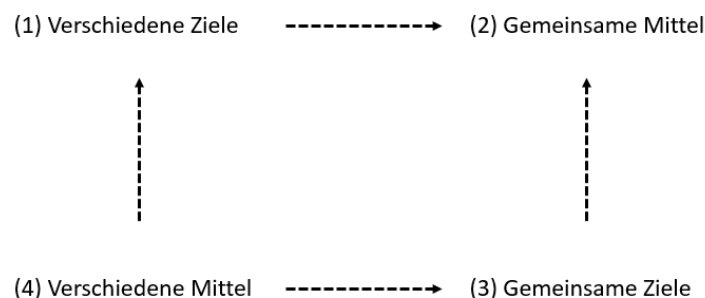


Abb. 7: „Produktion von Mehrdeutigkeit“ (eigene Darstellung nach Weick 1985)

Über die zyklische Resonanzbildung über Ziele und Mittel lernt eine Gruppe als Organisation. Sie verständigt sich auf Basis wahrgenommener Bedeutung, um gemeinsam zu handeln. Dieses schafft die Resonanz, welche die Festlegung von gemeinsamen Zielen auf Basis individueller Selbstreflexion möglich macht. Zur Wissensbildung erfolgt Kommunikation im Rahmen von Verständnisbildung, da die Bildung kollektiven Wissens den jeweiligen Bezug jedes Einzelnen auf die gemeinsame Praxis der Bedeutung erfordert (Hoppe 1988/1999).

Der Zyklus hilft nach Weick zur Sinnfindung durch wechselseitige Abstimmung, der nicht nur die durch die individuelle Wahrnehmung bedingte große Offenheit an Bedeutung bearbeiten lässt, sondern auch die Arbeitsfähigkeit (eines Kollektivs) sicherstellt: „Sinn ist also, mit anderen Worten gesagt, eine aktualitätsfähige Repräsentation von Weltkomplexität im jeweiligen Moment. Die Diskrepanz zwischen der Komplexität der wirklichen Welt und der Fassungskraft des Bewusstseins bzw. der Kommunikation kann aber nur dadurch überbrückt werden, dass der Raum der aktuellen Intention kleingehalten und alles andere potentialisiert, d.h. auf den Status einer bloßen Möglichkeit reduziert wird.“ (Luhmann 1990: 44.)

5. Zum Verhältnis von natürlicher und künstlicher Intelligenz – dem Unterschied von Kreativität von Natur und Mensch zu Verarbeitung/Generierung sowie zu den speziellen Gefahren des Mangels an Realitätsbezug

Die Diskussion über das Verhältnis von natürlicher und künstlicher Intelligenz ist naturgemäß besonders eng mit der Diskussion philosophischer Erkenntnis theoretisch-methodologischer Probleme verbunden.

Es ist offensichtlich, dass in dieser Diskussion die Grundpositionen, die in der Geistphilosophie schon seit langem diskutiert wurden, unmittelbar berührt werden, ohne dass umgekehrt die Informatik bzw. KI-Forschung bisher selbst wesentlich zu Klärung der Positionen beitragen konnte. Wie ist die Struktur menschlichen Wissens? Wie weit kann sie im Computer repräsentiert werden? Wie vollzieht sich der menschliche Denkprozess? Können wir denken, lernen, ja vielleicht sogar die menschliche Kreativität mittels Computer (-programme) modellieren? Auch wenn der Philosoph und die KI-Forscherin dieselben Fragen stellen, so gingen einige KI-Forscher*innen von philosophischen Annahmen des 18. Jahrhunderts aus, und zwar, dass das „Denken (zu) berechnen“ ist, wie es u.a. von J. Locke formuliert wurde.

Dies ist aber ein Gesichtspunkt bzw. ein Paradigma, das selbst von führenden KI-Forscher*innen nicht geteilt wird. Die kognitivistische KI-Forschung reproduzierte jedoch, mit dem hier vertretenen Hardware-Software-Dualismus, auch nur dualistische Positionen der Geistphilosophie. Die Vertreter der konnektionistischen KI-Forschung, wie auch der Philosoph Daniel Dennet (Dennet 2007), vertreten weithin eine reduktionistische Position einer Geist-Gehirn-Identität. Erforderlich ist aber eine weder dualistische noch reduktionistische Lösung des Geist-Körper-Problems, um zu einer verhältnismäßigen Einschätzung des Verhältnisses von natürlicher und technischer Intelligenz zu kommen.

Setzen wir uns mit dem Verhältnis von künstlicher Intelligenz zur menschlichen Intelligenz auseinander, geht es um die Begründung der Spezifik menschlichen Denkens, menschlichen Bewusstseins gegenüber der außerordentlichen Leistungsfähigkeit der maschinellen Operationen auf Zeichenketten – der syntaktischen Informationsverarbeitung bzw. Datenverarbeitung. Philosophisch, wie theoretisch, geht es letztlich um die Frage „Hat der Mensch weiterhin eine Sonderstellung in unserer Welt oder wird er früher oder später von besonders leistungsfähigen Schöpfungen des Menschen eingeholt und gar überholt?“ Werden Computer die besseren Menschen sein? Wird die Menschheit von einer Computer-Gesellschaft abgelöst? All dies ist schon mehrfach im Namen der Wissenschaft von verschiedenen Pionieren auf dem Gebiet der KI-Forschung postuliert worden (Moravec 1988).

Überblickt man die heutige Debatte, so ist jedoch festzustellen, dass Übertreibungen von den Fachleuten auf diesem Gebiet gegenwärtig eher vermieden werden. Vielmehr warnen KI-Spezialist*innen zumeist vor zu hohen Erwartungen. Diese werden gegenwärtig vorrangig von Journalist*innen und Schriftsteller*innen sowie durch die Reklame verschiedener Firmen befördert. Überhöhte Erwartungen finden aber auch durch reduktionistisches Denken in anderen Wissenschaften, wie in den Neurowissenschaften und auch in der Informatik einen Nährboden. In den Neurowissenschaften wird, gestützt auf Ergebnisse aus dem Libet-Experiment, von einer ganzen Reihe von Wissenschaftlern die Behauptung aufgestellt, dass der freie Wille des Menschen eine Illusion sei. Der Mensch sei daher doch nicht mehr als eine biochemische, neuronale Maschine. In der Informatik wird die Reduktion des Menschen auf den Computer durch die Verdinglichung der Information befördert, die durch die Reduktion der Information auf ihre syntaktische Struktur, ihren materiellen Träger, erfolgt.

Es entsteht heute eher der Eindruck, dass übertriebene Erwartungen nicht so sehr durch eine überhöhte positive Darstellung der Leistungsfähigkeit der KI-Systeme erzeugt wird, sondern durch Warnungen vor Gefahren, die sich aus der besonderen Leistungsfähigkeit ergeben könnten. Es ist natürlich nicht falsch, wenn sich insbesondere die entscheidenden Entwickler*innen und Produzent*innen, führende Industrielle wie Elon Musk (Musk 2023) und Steve Wozniak (Wozniak 2023) sowie Geoffrey Hinton (Beuth 2023), der sich als Entwickler des Chatbot-GPT, der wesentlich zu dem gegenwärtigen KI-Boom beigetragen hat, für die sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen der von ihnen hergestellten Systeme verantwortlich fühlen. Ganz im Gegenteil! Denn nur sie haben auch den entscheidenden Einfluss, real bestehenden Gefahren zu begegnen. Aber, dies muss auch wirklich diesem Ziel dienen. Die Gefahren dürfen nicht nur propagandistisch hochgespielt werden, um von Krieg und Hochrüstung, von Flüchtlings- und Umweltkatastrophen abzulenken. Es gilt nach und nach die Mittel zu suchen, mit denen diese Krisen überwunden werden können. Dazu bedarf es eben nicht nur High-Tech, sondern eigentlich „nur“ des gesunden Menschenverstandes. Wichtig dabei ist vor allem, zu prüfen, „in welches gesellschaftliche Umfeld ein Massenmedium, egal welches, eingebaut ist. Jedes Instrument erbt und erhält seinen Wert von der Gesellschaft, in die es eingebettet ist.“ (Weizenbaum 2001: Klappentext.)

Die großen Streiks der Drehbuchautor*innen und auch von Schauspieler*innen in Hollywood, die einen wesentlichen Grund in der Abwehr des Missbrauchs der KI haben, zeigen dies sehr deutlich. Hierbei spielen die potentiellen Möglichkeiten von ChatGPT eine große Rolle, denn es wird möglich Drehbücher mittels KI-Software herzustellen oder sogar eine/n weniger bekannten Schauspieler*in das Gesicht oder die Stimme eines Weltstars zu verleihen.

Es bestehen große Gefahren für die Demokratie durch Manipulation der Wähler*innen, so dass jetzt sogar die Regierung der USA juristische und ethischen Regelungen für den KI-Einsatz angekündigt hat. Texte und Bilder, die mit Hilfe von KI-Systemen geschaffen wurden, sollen in jedem Fall entsprechend gekennzeichnet werden.

Nach unseren Überlegungen geht es aber nicht nur um Gefahren durch bewusste Manipulation, sondern auch um mögliche Fehlleistungen, die sich aus dem Charakter der Systeme selbst, dem nicht gewährleisteten und dem ihnen inhärenten Mangel an Realitätsbezug (Sigmantik) ergeben.

Zuallererst wird zurecht gewarnt vor möglichen automatisierten Vorurteilen, die dadurch geschehen, dass mit der Auswahl der Trainingsdaten oder mit dem Entscheidungsalgorithmus schon bestimmte Einseitigkeiten vorgegeben sind. So sind nachweislich Diskriminierungen durch Künstliche Intelligenz beim Einsatz im Personalmanagement erfolgt (Simbeck 2020).

Es wird zurecht von generativer KI gesprochen, diese Art der Informationserzeugung ist weiterhin deutlich von den Prozessen der Informationsentstehung und Wertbildung im Lebenden und Geistigen zu unterscheiden.

Der Mensch ist und bleibt die einzige kreative Produktivkraft. Er wird weder physikalisch vollständig erklärt, noch wird er von einem technischen Automaten vollständig ersetzt werden. Eine Automatengesellschaft, die die menschliche ablösen könnte, wie dies im Namen einer reduktionistischen Wissenschaft prognostiziert wird, ist nicht zu erwarten.

Der Automat ist nach wie vor ein Informations-, besser Datentransformator. Er setzt den eingegebenen Daten kein grundsätzliches neues Element dazu.

Bei der klassischen (Massen-) Datenverarbeitung wurden eine Vielzahl von Aussagen zu einem aussagekräftigen Dokument verdichtet. Im Ergebnis erhält man aus einer Vielzahl von Einzelangaben die auszuzahlende Lohnsumme, aus einer Vielzahl von Messwerten an einem Hochofen, einen Gesamtwert über die bestehende Hitze im Ofen. Diese Ergebnisse sind für die Nutzer*innen neu, denn ansonsten müsste der Rechner nicht eingesetzt werden. Aber das Ergebnis ergibt sich aus den schon vorhandenen Daten.

Mit den modernen KI-Systemen, speziell mit der generativen KI, erreicht die Datenverarbeitung in der Tat eine qualitativ wesentlich höhere Stufe. Auf der Grundlage sehr großer Datenmengen werden künstliche neuronale Netze (KNN) trainiert (Deep Learning), so dass sie, unter Einsatz komplizierter statistischer Methoden, komplexe Strukturen, Bilder von Tieren, Landschaften und insbesondere auch Gesichter von Menschen erkennen, sowie durch Krebs veränderte Zellstrukturen von gesunden Zellstrukturen unterscheiden können.

Wichtig ist hier, was Britta Schinzel dazu schreibt: „Maschinelles Lernen: insbesondere Deep Learning funktioniert gut für regelhafte, gut abgegrenzte Phänomenbereiche, etwa für Spiele wie Schach oder Go, für epidemiologische Vorhersagen unter genau definierten Bedingungen oder für die Detektion mancher Tumoren aus radiologischen Aufnahmen. In der Dermatologie. Erfolgreich sind solche Verfahren also genau dann, wenn sie in einer wohl definierten, stabilen Umgebung eingesetzt werden.“ (Schinzel 2023: 11.)

Wie Britta Schinzel dann herausarbeitet, ist dies jedoch grundsätzlich anders beim Einsatz von KI-Systemen in unbestimmter Umgebung. Beim autonomen Fahren beispielsweise ist die Mensch-Maschine-Interaktion nicht mehr ohne Kontext zu gestalten (Fuchs-Kittowski 2020, Schinzel 2023) – weitere Anwendungserfahrungen siehe Christiane Floyd (Floyd 2023).

„Eine rationale wie menschengerechte Gestaltung von informations- und kommunikationstechnologischen Anwendungssystemen (IKT-Systemen), kann nur in einem entsprechenden Gestaltungsprozess hervorgebracht werden. Dieser verlangt nach einer entsprechenden Methodologie. Es bedarf der Erweiterung der ‚klassischen Methodologie‘ der Informationssystemgestaltung zur sozio-technischen/aktionalen Informationssystemgestaltung.“ (Stary/Fuchs-Kittowski 2022: 102.)

Haben wir nun solche KI-Systeme wie den Hochleistungsrechner Watson von IBM im Auge, der zwei Quiz-Champions schlug, so wissen wir, dass dieser seine hohe Leistungsfähigkeit u.a. durch den Rückgriff auf die enormen Datenmengen im Internet erhält, wie auch ChatGPT. Aus einer sehr großen Datenmenge werden neue Datenstrukturen generiert, die vom Menschen interpretiert werden müssen. „Der zur Empfindung fähige Computer mit eigenem Ich bleibt Stoff für Science Fiction. Was wir jedoch erleben, ist die Entstehung von Maschinen, die unser Denken durch die richtige Fragestellung unterstützen.“ (Maney/Hamm/O’Brien 2011: 87.)

W. Steinmüller machte bereits darauf aufmerksam, dass die praktische Informatik die sigmatische Dimension der Information zu beachten hat, ist doch ständiges Updating der Datenbanken ein zwingendes Erfordernis. Für die KI-Systeme, die auf die enorme Menge

an Daten des Internets zurückgreifen müssen, kann nicht immer gewährleistet werden, dass die Daten für das Training und die Entscheidungen transparent sind, und dass sie nicht vertaltet sind.

Deshalb gewinnt hier Entwicklung von Orgware, die Gewährleistung einer sozialen Kontrolle, die Realisierung einer sigmatischen Prozessstufe besondere Bedeutung. Britta Schinzel meint daher u.E. zurecht, dass es hierzu nicht nur ethischer Leitlinien, sondern einer Zertifizierung solcher Systeme bedarf (Schinzel 2023: 12).

Die Nachricht, dass der Facebook-Konzern Meta sein Sprachmodell „Lima“ offenlegt, so dass es als „Open Source“ allen Interessent*innen zur Weiterentwicklung zur Verfügung steht, mag die Problematik der Sicherheit, des Schutzes vor Missbrauch noch verstärken, ist aber möglicherweise auch ein Weg zu mehr öffentlicher Kontrolle.

Doch konnte man bisher davon ausgehen, dass die Chatbots der Sprach-KI mit Texten aus Büchern oder aus Wikipedia trainiert wurden, droht jetzt die Gefahr, dass das Internet mit maschinell generierten Texten überschwemmt wird, und somit die KI-Systeme wiederum an diesen, sehr wahrscheinlich fehlerhaften Texten trainiert werden. Indem der sog. Lernprozess zirkulär wird, vervielfältigt sich die Fehlerhaftigkeit.

Die Entwickler von Watson schreiben korrekt: „Der zu Empfindungen befähigte Computer mit eigenen Ich bleibt Stoff für Sciencefiction.“ Die Entwickler von ChatGPT haben zwar mit der korrekten Einordnung des KI-Systems in die Kategorie der Generativen KI die Möglichkeit, diese generative Erzeugung von komplexen Datenstrukturen von der Entstehung wirklich neuer Information, von Kreativität zu unterscheiden. Doch wird beispielsweise in der Einführung zur Anwendung von ChatGPT, fälschlicherweise, doch von schöpferischem Denken des Systems gesprochen.

Die kalifornische Firma OpenAI hat mit ihrem Chatbot ChatGPT sicher einen neue, leistungsfähige KI-Software auf den Markt gebracht. Es zeigt sich die enorme Macht der technischen „Superintelligenz“. Aber, wie wir nachzuweisen versucht haben, bedeutet dies keineswegs die Entmachtung des Menschen oder sogar die Verdrängung der Menschheit. Entscheidend dafür ist die menschliche Fähigkeit zu denken, die sich aus den Fähigkeiten zur Beschreibung, Vorhersage und Erklärbarkeit speist, wie Noam Chomsky zu Programmen wie ChatGPT zusammenfasst: „Indeed, such programs are stuck in a prehuman or nonhuman phase of cognitive evolution. Their deepest flaw is the absence of the most critical capacity of any intelligence: to say not only what is the case, what was the case and what will be the case — that’s description and prediction — but also what is not the case and what could and could not be the case. Those are the ingredients of explanation, the mark of true intelligence. ... Of course, any human style explanation is not necessarily correct; we are fallible. But this is part of what it means to think: To be right, it must be possible to be wrong.“ (Chomsky 2023.)

Auch schöpferisch Denken, d.h. neue Informationen und neues Wissen schaffen können die KI-Systeme nicht. Die Frage, ob ein Computersystem schöne Musik oder ein anspruchsvolles Gedicht schaffen kann, ist wohl so alt, wie die Computeranwendung. Joe Weizenbaum (Weizenbaum 2001), der mit seinem berühmten Eliza-KI-Programm wichtige Grundlagen für die Entwicklung von ChatGPT gelegt hatte – siehe dazu (Floyd 2023), hatte auf diese Frage schon vor den Sprachmodellen der KI eine treffende Antwort. „Warum soll der Computer nicht aus vielen, ihm vorgelegten ‚guten‘ Gedichten ein weiteres, schönes Gedicht generieren können? Der entscheidende Unterschied zum Dichter besteht darin, dass uns der Dichter mit seinem Gedicht etwas sagen will und sagen kann. Das kann der Computer nicht“ (Weizenbaum, 2001: 101).

Besonderen Stellenwert bekommt dieser Umstand, werden Programme wie ChatGPT im Bildungs- und Lernkontext eingesetzt. Wie erste Befunde (Barachini/Stary 2023) zeigen,

bedarf effektive Unterstützung entsprechend schlüssige Fragen und Zusammenhangsdenken. Des Weiteren stellt die Qualitätssicherung der verarbeiteten Daten eine große Herausforderung dar. Die Korrektheit der Lerndaten ist für einen qualitätsgesicherten Einsatz im Bildungsbereich eine unabdingbare Voraussetzung neben der Supervision von maschinellen Lernprozessen.

6. Wie entsteht aber nun Information und wo kommt ihre Bedeutung her?

Diese Frage, wie Information entsteht, woher die Bedeutung der Information kommt, hat nicht nur uns, sondern bereits Joseph Weizenbaum stark beschäftigt. In zwei Arbeiten zu diesem Thema behandelt er dieses am Beispiel eines Telegramms, welches regelmäßig von einem Dienstreisenden von Chicago an seine Frau nach Bosten geschickt wird, wenn er zum Wochenende nach Hause kommt. Weizenbaum macht an diesem Beispiel klar, dass der Inhalt der Information, ihre Bedeutung für den Empfänger sehr stark von dessen Erwartungshaltung abhängig ist. Der Empfänger interpretiert die Zeichen des Telegramms, die syntaktische Struktur. Er bedarf dazu immer weniger, umso mehr der Inhalt des Telegramms der Erwartung des Empfängers aufgrund der schon zuvor gewonnenen Erfahrungen der Frau mit den Reisegewohnheiten ihres Mannes entspricht.

Ein anderes Beispiel, welches verdeutlicht, wie weit der Inhalt einer Information von der Erwartungshaltung bis zur Gefühlslage des Empfängers abhängig ist, zeigt das Beispiel von einem Mann, der spürt, dass ein Arm auf seine Schulter gelegt wird. Seine Reaktion wird sehr unterschiedlich sein, ob er den Arm eines Freundes oder eines Polizisten erwartet, der ihn verhaften will. Dieser Hinweis auf die Aktivität des Empfängers bei der Gewinnung der Bedeutung der Information ist wichtig, denn die klassische Informationstheorie bzw. Signaltheorie von Claude Shannon hat völlig von der Aktivität des Empfängers abstrahiert. Dies war die Grundlage dafür, dass in vielen Arbeiten zur Informationsübertragung und -verarbeitung im technischen Bereich und im Lebenden von vornherein unterstellt wurde, dass die Sender-Empfänger-Wechselbeziehung auf allen Ebenen der Organisation lebender Systeme die gleiche wäre.

Wichtig ist die Erkenntnis, dass die syntaktische Struktur der Information, so z.B. die DNA als Träger der Erbinformation, noch nicht die Erbinformation ist, und dass es für ihre Herausbildung der ganzen lebenden Zelle bedarf. Daher geht Joe Weizenbaum auch auf unser Beispiel vom Molekularbiologen und dem Hühnchen ein. Das Verständnis dieser erkenntnistheoretischen Situation ist in der Tat besonders wichtig, um die Frage nach der Herkunft der Bedeutung zu klären. Denn wie der DNA-Text ständig im Entwicklungsprozess, in der Ontogenese, interpretiert werden muss, so haben auch Schriften auf Menschen nur Einfluss, wenn Menschen da sind, die die Texte mit ihren Erfahrungen ständig vergleichen.

Die Frage ist aber, wie entsteht völlig neue Information? Im Lebenden entsteht das Neue durch Fehler bei der Verdoppelung der DNA durch Mutationen: Um sich zu verwirklichen, muss sich das Neue in der Population durchsetzen. Umso vorteilhafter das Neue für die Population ist, umso schneller setzt es sich durch.

Für das Auftreten neuer Informationen in der menschlichen Gesellschaft scheint oftmals Analoges zu gelten. Das Neue tritt unerwartet auf. Es scheint oftmals auch ein Fehler zu sein. Es wird dann in der Gesellschaft weitergetragen, wenn sich viele davon einen Vorteil erhoffen, also ein Bedürfnis für dieses Neue gegeben ist.

„Ideen können überhaupt nichts ausführen. Zur Ausführung von Ideen bedarf es der Menschen, welche eine praktische Gewalt aufbieten“, schrieben Marx und Engels (Marx/Engels 1845: 126).

Wie also das Beispiel vom Molekularbiologen und dem Hühnchen zeigt, dass die DNA der ganzen Zelle, des lebenden Organismus bedarf, so bedürfen die Ideen der Menschen, um wirksam zu werden, der Menschen (Müller-Hill 1981: 180).

Dieses notwendige Zusammenwirken, ob nun auf der makromolekularen, neuronalen oder sozialen Ebene der Organisation lebender Systeme, kann letztlich nur wirklich erfasst werden, wenn man den Doppelcharakter der Information erfasst. Da dies weithin noch nicht verstanden wird, d.h. die Information vordringlich auf ihre syntaktische Struktur reduziert wird, kommt es zu der Vorstellung, dass sich alles aus der syntaktischen Struktur entwickelt. Es ist die sich selbst auferlegte Begrenzung vieler KI-Forscher, wenn sie die Meinung vertreten, ist die Struktur gegeben, ergibt sich alles Weitere daraus.

Wenn dieser Fehlschluss erkannt ist, wird die Bedeutung der Definition der Information durch Francisco J. Varela offensichtlich. Er bestimmt mit seiner, wie er sagt, für ihn neuen Definition, Information mit den Worten: „Es kam mir in dieser Arbeit besonders darauf an zu zeigen, dass dann, wenn der eigentliche Kern aller Kognition in ihrer Fähigkeit besteht, Bedeutungen und Sinn zu erzeugen, Information nicht als irgendeine vorgegebene Ordnung aufgefasst werden kann, sondern den Regularitäten entspricht, die sich aus den kognitiven Aktivitäten selbst ergeben.“

Er fährt dann fort: „Diese meine neue Konzeption hat vielfältige wissenschaftliche, technische, philosophische, ethische Konsequenzen ...“ (Varela 1999: Klappentext)

F. J. Varela begründet seine Definition der Information mit dem Hinweis auf experimentelle Ergebnisse von Maturana (siehe Abbildung in Abschnitt 2.4). Die Abbildung zeigt, dass nur 20% der Signale von außen kommen. Die meisten Signale für das visuelle System kommen aus verschiedenen Regionen des lebenden Organismus.

Im engen Zusammenhang mit diesem (neuen) Verständnis der Wahrnehmung argumentieren Humberto Maturana und Franzisko Varela gegen die Fehlerhaftigkeit der Annahme einer, wie sie es nennen „instruktiven Interaktion“. Diese „instruktive Interaktion“ ist für sie der Begriff für den landläufigen Glauben, dass wir in der Interaktion mit unserer Umwelt eine direkte Repräsentation von ihr erhalten würden. Es gibt entsprechend dieser Konzeption eine operationelle Geschlossenheit des Systems, welche dies ausschließt.

Die These vom Trugschluss der instruktiven Interaktion, wie sie sich bei Humberto Maturana und Franzisko Varela aus dem von ihnen postulierten Prinzip der operationellen Geschlossenheit ergibt, birgt eine Vielzahl erkenntnistheoretischen Konsequenzen in sich. Der Schluss auf den Radikalen Konstruktivismus ist, wie gesagt, jedoch nicht zwingend. Notwendig ist aber die Erkenntnis, dass Information, ihre Bedeutung, nicht einfach von außen aufgenommen, sondern auf der Grundlage der Signale intern gebildet wird. Hier haben wir es in der Tat mit einem dialektischen Geschehen zu tun: Denn die Information existiert nur in dem Verhältnis zwischen Sender und Empfänger. Sie wird im Empfänger erzeugt, jedoch auch nicht ohne eine Struktur vom Sender, wie sich dies bei den Prozessen der Informationsentstehung in Phylo- und Ontogenese (Fuchs-Kittowski 2018) schon verdeutlichen ließ.

Wie auch Terry Winograd und Fernando Flores in ihrem berühmt gewordenen Buch „Understanding Computer and Cognition“ (Winograd/Flores 1986) betonen, wird Information weder technisch übertragen noch gespeichert, sondern nur ihre syntaktische Struktur, die Signale. Information wird ausgetauscht durch Kommunikation, sie wird durch die Kommunikation jedoch nicht einfach übertragen, sondern sie stimuliert den Empfänger entsprechend.

Wir fragen, wie entsteht Information, wo kommt ihre Bedeutung her? Dies ist in der Tat eine philosophisch-erkenntnistheoretische Frage von besonderem Gewicht.

Eine Antwort ist Kreativität. Informationsentstehung beginnt damit, dass das Signal als Information gedeutet wird. Denn Information ist als Signal + Bedeutung zu verstehen.

Entsprechend unserem Schema der Informationsentstehung (siehe verallgemeinerter Hyperkreis) wird die so gewonnene Bedeutung jedoch erst nach ihrer Bewertung durch die Realisierung der Funktion letztlich bestätigt.

F. J. Varela spricht in seiner Definition der Information jedoch davon, dass der „eigentliche Kern aller Kognition in ihrer Fähigkeit besteht, Bedeutungen und Sinn zu erzeugen.“ Damit wird doch angenommen, dass das Gehirn in der Lage ist, Bedeutungen zu erzeugen und zu codieren. Es gibt keine Information, keine Bedeutung bzw. Ideelles ohne einen materiellen Träger. Es werden also auch Bedeutungen gesetzt. Die Frage, was zuerst da war, der Code oder die Bedeutung, ist die Frage nach dem Huhn oder dem Ei. Diese Frage löst sich, wie M. Eigen im Zusammenhang mit dem von ihm entwickelten Hyperkreis der Selbstorganisation der Makromoleküle betont hat, auf (Eigen 1971, Eigen/Schuster 1979).

Die Grundaussagen zu unserem evolutionären Informationsverständnis konnten mit dem Denkmodell des verallgemeinerten Hyperkreises gewonnen und verdeutlicht werden. Die entscheidende Aussage ist: Information ermöglicht erst organisierte Strukturen, die komplizierte Funktionen realisieren können. Wobei die Information erst durch die Funktion, über die damit erfolgende Bewertung ihre Bedeutung erhält und damit entsteht.

Die Prozessstufe der Bewertung wird durch die Rückwirkung der Umwelt realisiert.

Es ist also ein in sich widersprüchlicher Kreisprozess und wechselseitiger Bedingungsprozess von Abbildung (Struktur), Interpretation (Bedeutung) und Wirkung (Funktion, Verhalten) sowie Rückwirkung (Bewertung), der zur Entstehung von Information führt.

Information hat einen Doppelcharakter, sie ist als Codierung materiell und als Bedeutung ideell. Die Frage, wie entsteht Information, wo kommt ihre Bedeutung her, kann also nur beantwortet werden, wenn man aufzeigen kann, wie eine entstandene Bedeutung codiert und damit wirksam werden kann.

Es ist unsere Grundaussage, dass Information intern, in Prozessen der Selbstorganisation entsteht. Informationsentstehung und Selbstorganisation sind zwei Seiten eines Geschehens. Doch es gibt unterschiedliche Konzeptionen. Die Konzeption von einem Subjekt, welches zwar mit der Außenwelt in Verbindung ist, dann jedoch letztlich nur der Selbstwirkung unterliegt, wie es von Maturana und Varela, unter dem Begriff Autopoiese, entwickelt wurde, verabsolutiert die innere Dynamik. Es bedarf auch zur Herausbildung der Bedeutung des unmittelbaren Rückbezugs auf die Umwelt. Es bedarf auch der Umwelt zur Codierung der Bedeutung, denn, wie u.a. von Gregory Batson (Batson 1986) herausgearbeitet wurde, bewahrt der Mensch sein Wissen nicht nur in seinem Kopf, sondern speichert es in der Umwelt. Die Umwelt wird bedeutet. Demjenigen, der von einem Hund gebissen wurde, kommt der nächste Hund dem er begegnet, meist wesentlich größer vor.

Trotz aller Subjektivität unserer Wahrnehmung halten wir, als konstruktive Realisten, an dem Wahrheitsprinzip der Übereinstimmung, am Korrespondenzprinzip der Wahrheit fest, nach dem Aussagen dann wahr sind, wenn sie mit den, aus den Erscheinungen erschlossenen, wesentlichen Zusammenhängen (den Tatsachen) in der objektiven Realität übereinstimmen (korrespondieren). Wir folgen nicht dem Zeitgeist, wie er von Vertretern der Post Modernen verbreitet wird, dass es keine Wahrheit gäbe, sondern nur Interessen. Das Wahrheitsprinzip der Übereinstimmung zwischen Aussage und Sachverhalt, wie es schon von Aristoteles vertreten wurde, war und ist die Grundlage der Erfolge der Wissenschaft und Technik und notwendige Voraussetzung für deren sicheren und dem Leben, dem Menschen nutzenden Einsatz.

Kaum vorstellbar, wenn diese Meinung, dass es keine Wahrheit gäbe, richtig wäre und alle würden den Chatbot ChatGPT nutzen.

Danksagung: Wir danken Alexandra Culenova für die Erstellung der Abbildungen sowie ihre unermüdliche Unterstützung bei der Umsetzung der Formatvorlage.

Bibliographie

- Axelrod, Robert (1991): Die Evolution der Kooperation, 2. Auflage. München: Oldenbourg.
- Baracchini, Franz/ Stary, Christian (2023): „What is the Impact of ChatGPT on Facilitating Knowledge Provision and Creation? Examples and Criticalities in Classroom Education“. Proceedings International Conference on Knowledge Management ICKM'23, Florianopolis, Brasil, DOI: [10.13140/RG.2.2.14756.65921](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14756.65921)
- Batson, Gregory (1986): Ökologie des Geistes. Frankfurt a.M.: Suhrkamp Verlag.
- Beuth, Patrick (2023): „KI-Pionier Geoffrey Hinton warnt vor seiner eigenen Schöpfung“. Spiegel Netzwelt. <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/geoffrey-hinton-pionier-der-kuenstlichen-intelligenz-warnt-vor-seiner-eigenen-schoepfung-a-b80cb149-c8cf-4319-917e-03afae6ae557>
- Brocke, Jan/ Maaß, Wolfgang/ Buxmann, Peter/ Maedche, Alexander/ Leimeister, Jan Marco/ Pecht, Günter (2018): „Future Work and Enterprise Systems“. Business & Information Systems Engineering 60/4, 357-366. DOI: 10.1007/s12599-018-0544-2.
- Böhm, Peter (1986): „Der Wille als die Bedingung der Erkenntnis von Welt“. In Theodor Lessings Versuch einer erkenntnistheoretischen Grundlegung von Welt. Würzburg: Königshausen & Neumann, 81-87.
- Carlé, Martin (2004): „Die Sigmatik von Georg Klaus – ein Teilgebiet der Semiotik? Zur Materialität materialistischer Zeichentheorien“. Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften. Georg Klaus zum 90. Geburtstag. Gemeinsames Kolloquium der Leibniz-Sozietät und der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik im November 2002 in Berlin, hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski, Siegfried Piotrowski. Berlin: Trafo Verlag, 333-352.
- Chomsky, Noam (2023): „The False Promise of ChatGPT“. <https://portside.org/2023-03-08/noam-chomsky-false-promise-chatgpt>
- Delbrück, Max (1985): Wahrheit und Wirklichkeit - Über die Evolution des Erkennens. Hamburg: Rasch und Röhrling.
- Diaz-Bone, Rainer (2022): „Soziologie der Konventionen“. Soziologische Denkweisen aus Frankreich, hrsg. von Heike Delitz. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 475.
- Dennet, Daniel (2007): Süße Träume, Die Erforschung des Bewusstseins und der Schlaf der Philosophie, Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Dilthey, Wilhelm (1984): Das Wesen der Philosophie. Hamburg: Felix Meiner Verlag.
- Ebeling, Werner (2016): „Physik, Biologie, Technik und Selbstorganisation von Information“. Informatik und Gesellschaft, Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski, Werner Kriesel. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Eckhardt, Michael (2011): „Die Semiotik von Georg Klaus“. Zeitschrift für Semiotik (Band 33/Heft 3-4).
- Eigen, Manfred (1971): „Selforganization of Matter and Evolution of Biological Macromolecules“. Naturwissenschaften 58, 465–523.
- Eigen, Manfred/ Winkler, Ruth (1975): Das Spiel – Naturgesetze steuern den Zufall. Zürich: R. Piper & Co.
- Eigen, Manfred (1973): Vorrede zur deutschen Ausgabe von Manfred Eigen, in: Jaques Monod, Zufall und Notwendigkeit – Philosophische Fragen der modernen Biologie. München: R. Piper & Co.

- Eigen, Manfred/ Schuster, Peter (1979): *The Hypercycle*. Heidelberg: Springer.
- Elsasser, Walter (1958): *The physical Foundation of Biology*. Pergamon Press.
- Elsasser, Walter M. (1986): „Creativity as a Property of Molecular Systems“. *System Design for Human Development and Productivity: Participation and beyond*, hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski, Dietrich Gertenbach. *Proceedings of the IFIP TC9/WG9*. 1. Konferenz, 12.–15. Mai 1986, Berlin: Akademie der Wissenschaften der DDR.
- Elsasser, Walter M. (1987): *Reflections on a Theory of Organisms – Holism in Biology*. Baltimore/ London: Johns Hopkins University Press.
- Endsley, Mica R. (2000): „Theoretical underpinnings of situation awareness. A critical review“. *Situation awareness analysis and measurement*, hrsg. von Mica R. Endsley, Daniel J. Garland. Boca Raton, USA: CRC Press, DOI: <https://doi.org/10.1201/b12461>.
- Erpenbeck, John/ Sauter, Werner (2019): *Wertungen, Werte - Das Buch der gezielten Wertentwicklung von Persönlichkeiten*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Feuerriegel, Stefan/ Hartmann, Jochen/ Janisch, Christian/ Zschech Patric (2024): „Generative AI“. *Business & Information Systems Engineering* (1/2024), 111 – 126.
- Fleissner, Peter/ Hofkirchner, Wolfgang/ Müller, Harald/ Pohl, Margit/ Stary, Cristian (Hrsg.) (1998): *Der Mensch lebt nicht vom Bit allein. Information in Technik und Gesellschaft*, 2. Auflage, Wien: Peter Lang.
- Fleissner, Peter/ Fleissner, Georg (1998): „Jenseits des chinesischen Zimmers: Der blinde Springer – Selbstorganisierte Semantik und Pragmatik am Computer“. *Information und Selbstorganisation – Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information*, hrsg. von Norbert Fenzl, Wolfgang Hofkirchner und Gottfried Stockinger. Wien: Studien Verlag.
- Floyd, Christiane (2023): „From Joseph Weizenbaum to ChatGPT – Critical Encounters with Dazzling AI Technology“. *Weizenbaum Journal of the Digital Society* 3/3, 1–29. <https://doi.org/10.34669/WI.WJDS/3.3.3>
- Floyd, Christiane (2022): „Wissensprozesse in der Cyberscience“. *Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik – Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftliche Tätigkeit (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften)*, hrsg. von Gerhard Banse, Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
- Fuchs, Christian/ Hofkirchner, Wolfgang (2002): „Ein einheitlicher Informationsbegriff für eine einheitliche Informationswissenschaft“. *Stufen zur Informationsgesellschaft – Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Christiane Floyd, Christian Fuchs, Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Fuchs-Kittowski, Frank (2007): *Integrierte IT-Unterstützung der Wissensarbeit*. Lomar – Köln: Eul-Verlag.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1964): *Dissertation: „Das Problem des Determinismus – technische Regelung und Regulationsgeschehen im lebenden Organismus“*. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin, Philosophische Fakultät.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1969): *Habilitations-Schrift: „Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie, Tatsachen und Hypothesen über das Verhältnis des technischen Automaten zum lebenden Organismus“*. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin, Philosophische Fakultät. Jena: Gustav Fischer Verlag 1969. Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage 1976. <http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/Fuchs-Kittowski-Determinismus.pdf>
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1992a): „Reflection on the Essence of Information“. *Software Development and Reality Construction*, hrsg. von Christiane Floyd, Heinz Züllighoven,

- Reinhard Budde, Reinhard Keil-Slawik. Berlin, New York, Heidelberg: Springer Verlag, 416–432.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1992b): „Theorie der Informatik im Spannungsfeld zwischen Formalem Modell und Nichtformaler Welt“. Sichtweisen der Informatik, hrsg. von Wolfgang Coy et al. Braunschweig, Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1998): „Information und Biologie: Informationsentstehung – eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie“. Biochemie – ein Katalysator der Biowissenschaften. Kolloquium der Leibniz-Sozietät am 20. November 1997 anlässlich des 85. Geburtstages von Samuel Mitja Rapoport, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 22/2, 5–17.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (1999): „Künstliche Intelligenz in der Medizin – Herausforderungen und Visionen an der Jahrtausendwende“. Zukunftsvisionen in der Medizin, Medizin und Gesellschaft. (Heft 19), 31–72.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (2007): Integrierte IT-Unterstützung der Wissensarbeit, eine tätigkeits- und kooperationsorientierte Perspektive. Lomar – Köln: Eul Verlag.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (2007): „Zum „Für und Wider“ die Kybernetik und zur Entwicklung der Kybernetik II. Ordnung“. Kybernetik steckt den Osten an – Aufstieg und Schwierigkeiten einer interdisziplinären Wissenschaft in der DDR, hrsg. von Frank Dittmann und Rudolf Seising. Berlin: trafo Verlag, 291 – 321.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (2018): „Zur Entstehung und Erhaltung von Information in lebendiger Organisation. Grundkategorien einer Theorie der Biologie und der Informatik“. Vortrag auf dem Kolloquium „Emergente Systeme. Information und Gesellschaft“ am 10.12.2015, Leibniz Online (Nr. 32). Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e. V.
- Fuchs-Kittowski, Klaus (2020): „Informationssystem-, Arbeits- und Organisationsgestaltung in Produktion und Verkehr – das Orgware-Konzept, die Paradoxie der Sicherheit, des Wächters, der Beherrschung großer Datenmengen“. Zukunft der Arbeit – soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von Digitalisierung« und »Künstlicher Intelligenz, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 67, hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: trafo-Verlag der Wissenschaften, 83–113.
- Fuchs-Kittowski, Klaus/ Rosenthal, Hans A. (1972): „Selbstorganisation und Evolution“. Wissenschaft und Fortschritt 22/7, 308–313.
- Fuchs-Kittowski, Klaus/ Lemgo, Klaus/ Schuster, Ursula/ Wenzlaff, Bodo (1975): „Man/Computer Communication: A Problem of Linking Semantic and Syntactic Information Processing“. Workshop on Data Communications, International Institute for Applied Systems Analysis, September 15–19, 1975 CP-76-9, 2361, Laxenburg, Austria.
- Fuchs-Kittowski, Klaus/ Heinrich, Lutz J./ Rolf, Arno (1999): „Information entsteht in Organisationen: – in kreativen Unternehmen – wissenschaftstheoretische und methodologische Konsequenzen für die Wirtschaftsinformatik“. Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie – Bestandsaufnahme und Perspektiven, hrsg. von Jörg Becker, Wolfgang König, Reinhard Schütte, Oliver Wendt, Stephan Zelewski. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH.
- Fuchs-Kittowski, Klaus/ Piotrowski, Siegfried (2004): „Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften“. Georg Klaus zum 90. Geburtstag – Gemeinsames Kolloquium der Leibniz-Sozietät und der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik im November 2002 in Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät), hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski, Siegfried Piotrowski. Berlin: Trafo Verlag.
- Fuchs-Kittowski, Klaus/ Rosenthal, Hans A./ Rosenthal, André (2005): „Die Entschlüsselung des Humangenoms – ambivalente Auswirkungen auf Gesellschaft und

- Wissenschaft“. Erwägen, Wissen, Ethik (Deliberation Knowledge Ethics) Streitforum für Erwägungskultur, Stuttgart: EWE 16/2, 149–234.
- Fuchs-Kittowski, Klaus/ Zimmermann, Rainer (Hrsg.) (2014): *Kybernetik, Informatik, Logik und Semiotik – Aus philosophischer Sicht / Zur Dialektik ihrer ambivalenten Wirkungen – Zum 100. Geburtstag von Georg Klaus*. Berlin: Trafo Wissenschaftsverlag.
- Glaserfeld, Ernst von (1997): *Radikaler Konstruktivismus*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Hampe, Michael (2006): „Sichtbare Wesen, deutbare Zeichen, Mittel der Konstruktion: zur Relevanz der Bilder in der Wissenschaft“. *Angewandte Chemie* 118/7, 1044–1048. <https://doi.org/10.1002/ange.200502407>
- Hoppe, O. (1988): „Können – Beobachten – Bedeutung“. *Konstruktionen der Verständigung: die Organisation von Schriftlichkeit als Gegenstand didaktischer Reflexion*, 2. Auflage, 1999, hrsg. von Karl Holle. Lüneburg: Universität Lüneburg.
- Jacob, François (1972): *Die Logik des Lebenden – Von der Urzeugung zum genetischen Code*. Frankfurt a. M.: S. Fischer Verlag.
- Kalkofen, Hermann (2004): „Die Rolle der Sigmantik in der Konzeption der Semiotik bei Georg Klaus oder Plädoyer für die Sigmantik“. *Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften. Georg Klaus zum 90. Geburtstag. Gemeinsames Kolloquium der Leibniz-Sozietät und der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik im November 2002 in Berlin*, hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski, Siegfried Piotrowski. Berlin: Trafo Verlag.
- Kesselheim, Wolfgang (2021): *Ausstellungskommunikation: eine linguistische Untersuchung multimodaler Wissenskommunikation im Raum*. Berlin: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110572933>
- Klaus, Georg (1963): *Semiotik und Erkenntnistheorie*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Kornwachs, Klaus (2022): „Zur Systemtheorie des Lesens und Schreibens – Skizze einer Theorie der Pragmatischen Information“. *Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik – Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftliche Tätigkeit (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften)*, hrsg. von Gerhard Banse, Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
- Krause, Bodo (2016): „Zum Verständnis von Information aus naturwissenschaftlich-psychologische Sicht“. *„Informatik und Gesellschaft, Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski, Werner Kriesel. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Kriesel, Werner/ Hofmann, Ulrich (2020): „Kybernetik Automatisierung und Autonomisierung – zu einem Imperativ der Automation“. *Zukunft der Arbeit – soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von „Digitalisierung“ und „künstlicher Intelligenz“* Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 67, hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: trafo Verlag, 225–247.
- Krüger, Jörg (2018): „Zusammenwirken von Mensch und Maschine im Zeitalter der digitalen Produktion“. *Wissenschaft und Innovation: Jahrbuch Wissenschaftsforschung*, hrsg. von Jörg Krüger, Heinrich Parthey. Berlin: Wissenschaftlicher Verlag, 9–26.
- Luhmann Niklas (1990): *Ökologische Kommunikation*, 3. Auflage. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Lüthi, Barbara/ Niedermeier, Silvan/ Lee, You Jae (2019): „Travelling Things – Dinge auf Wanderungen“. *Comparativ: Zeitschrift für Globalgeschichte und vergleichende Gesellschaftsforschung*. Leipzig: Leipzig-Uni Verlag.
- Malhotra, Yogesh (2004): „Why knowledge management systems fail: enablers and constraints of knowledge management in human enterprises“. *Handbook on Knowledge*

- Management Vol. 1: Knowledge matters. Holsapple, C. (Ed.). New York: Springer Science & Business Media. 577–599.
- Maney, Kevin/ Hamm, Steven/ O'Brien, Feffrey M. (2011): Im Dienst der Welt. Ideen die ein Jahrhundert und ein Unternehmen prägten. San Francisco, New York: IBM Press-Pearlson plc.
- Marx, Karl/ Engels, Friedrich (1845): Die Heilige Familie. Frankfurt a. M.: Literarische Anstalt (J. Rütten).
- Masani, Pesi Rustom (2012): „Von Neumann`s Letter (1946), on the direction of cybernetical research, molecular biology“. Norbert Wiener 1894–1964, Vol.5. Basel: Birkhäuser.
- Maturana, Huberto R./ Varela, Francisco J. (1984): Der Baum der Erkenntnis: Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Bern: Bertelsmann.
- Maturana, Huberto R./ Varela, Francisco J. (1987): Der Baum der Erkenntnis – Wie wir die Welt durch unsere Wahrnehmung erschaffen – die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Wien: Scherz Verlag.
- Mayr, Ernst (1979): „Zum Charakter der Gesetzmäßigkeit der Evolution“. Gesetz – Entwicklung Information – Zum Verhältnis von philosophischer und biologischer Entwicklungstheorie, hrsg. von Herbert Hörz und Czeslaw Nowinski. Berlin: Akademie-Verlag, 287–309.
- Moravec, Hans (1998): Mind Children, The Future of Robot and Human Intelligence. Cambridge: Mass Harvard University Press.
- Morris, Charles William (1988): Grundlagen der Zeichentheorie – Ästhetik der Zeichentheorie. Frankfurt a.M.: Fischer. (Erstausgabe: Morris, Charles (1938): Foundation of the Theory of Signs. Chicago: University of Chicago Press).
- Musk, Elon (2023): „Musk will KI-Forschung mit offenem Brief stoppen“. <https://future-zone.at/digital-life/elon-musk-ki-forschung-offener-brief-moratorium-experten-kuenstliche-intelligenz-ai-gpt-4/402382313>
- Müller-Hill, Benno (1981): Die Philosophen und das Lebendige, Frankfurt a.M./ New York: Campus Verlag.
- North, Klaus (2021). Wissensorientierte Unternehmensführung: Wissensmanagement im digitalen Wandel. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Peirce, Charles Sanders (1986): Semiotische Schriften. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Piaget, Jean (1974): Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Rapoport, Samuel Mitja (1960): „Zur enzymatischen Regulation des Zellstoffwechsels. Forschungen und Wirken“. Festschrift zur 150-Jahrfeier der Humboldt-Universität. Berlin: Verlag der Wissenschaften Berlin.
- Rosenthal, Hans-Alfred (2002): „Zu einem Aspekt der genetischen Information: Geist und Materie in der frühen biologischen Evolution“. Stufen zur Informationsgesellschaft – Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Christiane Floyd, Christian Fuchs, Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Rothe, Hans-Jürgen (2020): „Arbeit 4.0 – alte und neue arbeitswissenschaftliche und ingenieurpsychologische Probleme“. Zukunft der Arbeit – Soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von „Digitalisierung“ und „Künstlicher Intelligenz“, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 67, hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 21–39.
- Schinzel, Britta (2023): „Von Software-Beton, falschen Vorhersagen und „intelligenter“ Diskriminierung – Wie digitale Entscheidungsarchitekturen Menschen und Lebensräume einheitlich ordnen“. FIFF – Kommunikation – Mensch – Gesellschaft – Umwelt und Informatik 2/ 2023, 11.

- Schumann, Adine/Du, Yaoli (2022): „Pragmatische Information in Interaktion“. Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik – Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftliche Tätigkeit (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften), hrsg. von Gerhard Banse, Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
- Simbeck, Katharina (2020): „Diskriminierungen durch Künstliche Intelligenz – Ethische Aspekte beim Einsatz von analytischen, datengetriebenen Verfahren im Personalmanagement“. Zukunft der Arbeit, hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski, Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 199–210.
- Spath, Dieter (2013): „Der Automatisierungsgrad hat in der Flexibilität seine Grenzen“, Interview zu Industrie 4.0. (<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/automation/der-automatisierungsgrad-in-flexibilitaet-grenzen/>).
- Stary, Christian/ Peschl, Markus (1995): „Towards Constructivist Unification of Conventional Machine Learning and Parallel Distributed Processing“. Android Epistemology, hrsg. von Kenneth M. Ford, Clark Glymour, Patrick Hayes. Bonn: MIT-Press.
- Stary, Christian/ Fuchs-Kittowski, Klaus (2020): „Zur Wiedergewinnung des Realismus als notwendige Grundlage einer am Menschen orientierten Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung“. Leibniz Online, Nr. 41. ISSN 1863-3285
- Stary, Christian/ Fuchs-Kittowski, Klaus (2022): „Zur Methodologie sozio-technischer Informationssystem- und Arbeitsgestaltung: Erkenntnistheoretische Überlegungen zum Einsatz von Design Science im Kontext der Entwicklung von Informationssystemen“. Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik. Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit, hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski und Gerhard Banse. Berlin: Leibniz Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Band 150/151 (2022), S. 79–102.
- Steinmüller, Wilhelm (1991): Information. Modell, Informationssystem, Report Nr. 5/1991, Fachbereich Informatik, Universität Bremen.
- Steinmüller, Wilhelm (1993): Informationstechnologie und Gesellschaft – Einführung in die Angewandte Informatik. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Tschirschwitz, Reiner/ Fuchs-Kittowski, Klaus/ Kaiser, Horst/ Wenzlaff, Bodo (Hrsg.) (1976): Informatik und Automatisierung – Theorie und Praxis der Struktur und Organisation der Informationsverarbeitung. Berlin: Akademie Verlag Berlin.
- Varela, Francisco J., (1990): Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik – Eine Skizze aktueller Perspektiven. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Varela, Francisco (1994): Ethisches Können. Frankfurt a. M.: Campus Verlag.
- Vester, Frederic (1975): Denken, Lernen, Vergessen: Was geht in unserem Kopf vor, wie lernt das Gehirn, und wann lässt es uns im Stich?. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Völz, Horst (2016): „Information, Software, Hardware – Ein Vergleich und Überblick“. Informatik und Gesellschaft, Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski, Werner Kriesel. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Watson, James D. (1969): Die Doppel- Helix – Ein persönlicher Bericht über die Entdeckung der DNS-Struktur. Hamburg: Rowohlt.
- Watzlawick, Paul/ Beavin, Janet H./ Jackson, Don D. (1971): Menschliche Kommunikation. Bern: Huber.
- Weick, Karl E. (1985): Der Prozeß des Organisierens. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Weizenbaum, Joseph (2001): „Kunst und Computer“. In: Computermacht und Gesellschaft. Gunna Wendt, Franz Klug (Hrsg.), Suhrkamp Verlag Frankfurt a.M.: Suhrkamp Verlag, 98–101.

- Weizenbaum, Joseph (2002): „Wo kommt Bedeutung her und wie wird Information erzeugt?“. *Stufen zur Informationsgesellschaft – Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Christiane Floyd, Christian Fuchs, Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Weizsäcker, Ernst von/ Weizsäcker, Christiane von (1972): „Wiederaufnahme der begrifflichen Frage. Was ist Information?“. *Informatik, Nova Acta Leopoldina*, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 535–555.
- Wenzlaff, Bodo (2002): „Information und Organisation“. *Stufen zur Informationsgesellschaft – Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Christiane Floyd, Christian Fuchs, Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Weizenbaum, Josef (2002): „Wo kommt Bedeutung her und wie wird Information erzeugt?“. *Stufen zur Informationsgesellschaft – Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Christiane Floyd, Christian Fuchs, Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag, 233–239.
- Wiener, Norbert (1963): *Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine*. Düsseldorf, Wien: Econ-Verlag.
- Winograd, Terry/ Flores, Fernand (1986): *Understanding Computer and Cognition*. Norwood, USA: Ablex Publishing Corporation. (in Deutsch, Erkenntnis, Maschinen Verstehen, Rotbuch Verlag).
- Wittgenstein, Ludwig (1984): *Philosophische Untersuchungen*. Frankfurt a. M: Suhrkamp.
- Wozniak, Steve (2023): „Steve Wozniak warnt vor Missbrauch von künstlicher Intelligenz“. <https://futurezone.at/digital-life/steve-wozniak-apple-mitgruender-warnt-vor-kuenstlicher-intelligenz/402442653>
- Zorn, Werner (2016): „Von der Nützlichkeit verständlicher Begriffsdefinitionen am Beispiel „Information““. *Informatik und Gesellschaft, Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski*, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski, Werner Kriesel. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.

E-Mail-Adresse des korrespondierenden Verfassers: christian.stary@jku.at



Karl Marx' Studienmaterialien: thematische Vielfalt und inhaltliche Konstanten. Ein Überblick¹

Rolf Hecker (MLS)

Veröffentlicht: 20. März 2024

Abstract

Marx's study materials paint a broad, truly universal picture. There is hardly a scientific area that does not appear, more or less fundamentally and extensively. The entirety of his excerpts and marginalia in the books in his library represents an impressive documentation of the contemporary state of knowledge and its historical development. Marx's philosophical starting positions in the 1840s are summarized, as are his analysis of financial policy, crises and European foreign policy presented in the 1850s, followed by the 1860s, which were characterized by a further systematization of political economy, and finally the 1870s show the unity of society, economy and nature.

Resümee

Marx' Studienmaterialien zeichnen ein breitgefächertes, wahrhaft universelles Bild. Es gibt kaum einen wissenschaftlichen Bereich, der nicht, mehr oder weniger grundsätzlich und umfangreich, in Erscheinung tritt. Die Gesamtheit seiner Exzerpte und Marginalien in den Büchern seiner Bibliothek stellt eine beeindruckende Dokumentation des zeitgenössischen Wissensstandes und seiner historischen Herausbildung dar. Es werden die philosophischen Ausgangspositionen von Marx in den 1840er Jahren zusammengefasst, seine Analyse der Finanzpolitik, von Krisen und die europäische Außenpolitik in den 1850er Jahren vorgestellt, gefolgt von den 1860ern, die von einer weiteren Systematisierung der politischen Ökonomie geprägt waren, abschließend zeigen die 1870er die Einheit von Gesellschaft, Ökonomie und Natur.

Keywords/Schlüsselwörter

Marx, Engels, MEGA, excerpts, history, political economy, natural sciences, holism, ecology, history of science

Marx, Engels, MEGA, Exzerpte, Geschichte, Politische Ökonomie, Naturwissenschaften, Holismus, Ökologie, Wissenschaftsgeschichte

Themenvielfalt und Wissenschaftsgeschichte

Marx' Studienmaterialien zeichnen ein breitgefächertes, wahrhaft universelles Bild. Es gibt kaum einen wissenschaftlichen Bereich, der nicht, mehr oder weniger grundsätzlich und umfangreich, in Erscheinung tritt. Die Gesamtheit der Exzerpte und Marginalien stellt eine

¹ Im Andenken an Dr. Richard Sperl (1929–2024) für seine Hinweise und Unterstützung (Sperl 2004, 68–87). Der hier überarbeitete und ergänzte Text geht aus einem Vortrag im September 2012 im Beijinger Übersetzungsbüro (Central Compilation and Translation Bureau) hervor, an dem an der Herausgabe einer zweiten chinesischen Marx-Engels-Gesamtausgabe auf Grundlage der MEGA² gearbeitet wird (Hecker 2016, 89–105).

beeindruckende Dokumentation des zeitgenössischen Wissensstandes und seiner historischen Herausbildung dar.² Mehrere Hunderte von Werken und Aufsätzen aus nahezu allen Gebieten, ob Philosophie, Ökonomie, Natur und Gesellschaft, Geschichte, Politik, Staat und Recht, Technik und Mathematik, Kunst und Kultur, Sprache und Denken usw. sind hier in konzentrierter Form ausgewertet. Dieser Reichtum bildete die sichere Basis der für das Lebenswerk von Marx charakteristischen fachübergreifenden Zusammenschau, die viele neue, weiterführende Gesichtspunkte für eine moderne Gesellschaftstheorie ermöglichte und Marx einen legitimen und bleibenden Platz in der Wissenschaftsgeschichte mehrerer Disziplinen zuweist. Er zwingt die Bearbeiter der Bände der Vierten Abteilung der MEGA², Marx in seinem enzyklopädischen Wissensstreben überallhin zu folgen. Das gestaltet diese editorische Arbeit interessant, abwechslungsreich und führt vielfach in Neuland.³

Diese Themenvielfalt zeigt sich nicht nur in der Gesamtschau, sondern bereits in den Materialien einzelner MEGA-Bände (Hecker/Neuhaus/Sperl 2018),⁴ ja selbst innerhalb einzelner Exzerptheft. In vielen von ihnen sind Dutzende Werke unterschiedlichsten Charakters und Inhalts aus der Feder Dutzender bekannter oder auch weitgehend in Vergessenheit geratener Autoren versammelt. Charakteristisch für die Beschäftigung von Marx mit den verschiedenen Wissensgebieten ist allerdings, dass diese nicht in einem Neben- und Nacheinander, sondern einem Miteinander und Ineinandergreifen erscheint. Marx betrachtete die Wissenschaften in ihrer Totalität, ihrer Einheit und in ihren Zusammenhängen. Dieses „interdisziplinäre“ Herangehen widerspiegelt sich in aller Deutlichkeit in seinen Studienmaterialien (Griese/Sandkühler 1997, 7–12). Sie sind nach seiner eigenen Bewertung „Reproduktion, grössere Ausbildung der Form, breitere Aneignung des Stoffs, Pointierung, Popularisierung, Zusammenfassung, Ausarbeitung der Details, Mangel an springenden und entscheidenden Entwicklungsphasen, Aufnahmen des Inventariums auf der einen Seite, Zuwachs im Einzelnen auf der andren“ (MEGA² II/1, 3).

Bei genauerer Analyse von Marx' Studienmaterialien zeigen sich durchgehende Grundlinien bzw. eine systematische Verfolgung klarer Zielstellungen. Obwohl durch die sofortige Beschäftigung mit bedeutsamen Neuerscheinungen von Fachbüchern und wichtigen historischen Ereignissen, aber auch durch aktuelle politische Erfordernisse oder persönlich-familiäre Probleme häufig Ablenkungen oder Unterbrechungen im Studienprozess auftreten, wird er immer wieder aufgenommen, fortgesetzt und vertieft.⁵ Wenn bei der zeitlichen Reihenfolge der Beschäftigung mit einzelnen Wissenschaften auch Zufälligkeiten oder Ablenkungen eine Rolle spielen, so lässt sich eine zielgerichtete Orientierung erkennen. Schrittweise entfaltet sich ein Forschungsplan, z. B., was die Entwicklung der Arbeitsproduktivität

² Siehe dazu auch die Aufgliederung der verzeichneten Titel aus den persönlichen Bibliotheken von Marx und Engels nach Wissenschafts- und Sachgebieten (MEGA² IV/32, 729–738). Hier werden folgende Hauptgebiete aufgeführt: Wirtschaftswissenschaften und ökonomische Praxis; Sozialwissenschaften, Sozialpolitik, soziale und politische Bewegungen; Rechts- und Staatswissenschaft; Philosophie und Philosophiegeschichte; Geschichtswissenschaft, allgemeine und politische Geschichte; Internationale Beziehungen; Militaria; Humanwissenschaften, Kultur und Kunst; Naturwissenschaften, Mathematik und Technikwissenschaften; Biographisches und Briefwechsel.

³ Siehe auch http://mega.bbaw.de/struktur/abteilung_iv.

⁴ In diesem Beitrag wird nicht auf die Editions-geschichte der Exzerpte von Marx eingegangen. Für die zweite MEGA² siehe den genannten Beitrag von Sperrl (Anm. 1); für die erste MEGA der 1920/30er Jahre siehe Weller (1994, 200–207) und Hecker (2001, 236–241).

⁵ So findet man in der *Einführung* von Griese (1999, 634–650) zu Band IV/31, in dem Marx' Exzerpte zur Chemie und seine letzten naturwissenschaftlichen Studien publiziert wurden, eine Überblicksdarstellung zu den vorausgegangenen Exzerpten zur Geologie, Physiologie, Ethnologie usw., die dieses systematische Vorgehen und die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wissenschaften sichtbar macht.

angeht, von der handwerklichen Arbeitsteilung über die Anwendung der Maschinerie und Entwicklung der Industrie bis zur Technologie und der Formierung moderner Produktivkräfte. Oder, um ein weiteres Beispiel zu nennen, von der Geologie und Mineralogie (Entwicklungsgeschichte der Erde) über die anorganische und organische Chemie (Bausteine der Materie und des Lebens), die Evolutionstheorie (Entwicklungsgeschichte der Arten), die Physiologie (natürliche Beschaffenheit der Pflanzen, Tiere und Menschen) bis hin zur Entwicklungsgeschichte der menschlichen Gesellschaft, des menschlichen Denkens und Wissens. So kann es nicht verwundern, wenn Begriffe aus den Naturwissenschaften, wie Zelle, Form oder Formation, von Marx in der Ausarbeitung seiner Kritik der politischen Ökonomie verwandt werden.

Eine alle Studienfelder – wie auch das darauf beruhende Gedankengebäude von Marx – umschließende Klammer ist zweifellos die Betrachtung der Welt als Ganzes (Holismus), die Erfassung aller Erscheinungen in ihrer Totalität und Globalität sowie in ihrer historischen und dialektischen Entwicklung. Folglich unterscheidet Marx die Forschungsmethode von der Darstellungsmethode, wozu er im *Nachwort* zur zweiten Auflage des ersten Bandes des *Kapitals* (1873) bemerkt: „Die Forschung hat den Stoff sich im Detail anzueignen, seine verschiedenen Entwicklungsformen zu analysieren und deren innres Band aufzuspüren. Erst nachdem diese Arbeit vollbracht, kann die wirkliche Bewegung entsprechend dargestellt werden.“ (MEGA² II/6, 709.) In der *Einleitung* (Ökonomische Manuskripte 1857/58) hatte er bezüglich der Ökonomiekritik festgestellt: „Es wäre also unthubar und falsch, die ökonomischen Categorien in der Folge aufeinander folgen zu lassen, in der sie historisch die bestimmenden waren. Vielmehr ist ihre Reihenfolge bestimmt durch die Beziehung, die sie in der modernen bürgerlichen Gesellschaft auf einander haben und die gerade das umgekehrte von dem ist, was als ihre naturgemässe erscheint oder der Reihe der historischen Entwicklung entspricht. Es handelt sich nicht um das Verhältniß, das die ökonomischen Verhältnisse in der Aufeinanderfolge verschiedener Gesellschaftsformen historisch einnehmen.“ (MEGA² II/1, 42.)

Nach diesen einordnenden Bemerkungen werden im Folgenden die einzelnen Etappen mit ihren konkreten Begleitumständen und ihren spezifischen Schwerpunkten unterschieden und zugleich wird die Kontinuität des gesamten Vorgangs dargestellt.⁶

1840er Jahre: Philosophische Ausgangspositionen

In den 1840er Jahren zeigen sich Marx' philosophische Ausgangspositionen. Seine Studienaufzeichnungen beginnen mit sieben Heften zur Philosophie der Antike (Aristoteles, Epikur, Demokrit) und *Berliner Heften* mit Exzerpten aus Werken klassischer Philosophen der Neuzeit (Hegel, Leibniz, Hume, Spinoza, Rosenkranz über Kant u.a.). Und er blieb der Philosophie, die nach Erkenntnis des Weltganzen strebt, sein Leben lang treu, auch als er sich vorrangig der politischen Ökonomie zuwandte. Das war ein großer Vorteil, denn die vormarxschen und zeitgenössischen Ökonomen – Ausnahmen bilden Smith oder Ricardo, von Marx mehrfach intensiv exzerpiert – blieben zumeist in ihrem eingegrenzten Fachgebiet befangen. In Marx' folgenden Exzerpten, in den *Pariser* und *Brüsseler Heften* (1844–1847), sind zweierlei Prozesse zu beobachten: einerseits eine spezifisch philosophische Betrachtungsweise der ökonomischen Phänomene, andererseits die fortschreitende Präferenz der exakten generalisierenden Methode auf materialistischer Grundlage.

⁶ Es lassen sich im Wesentlichen vier große Etappen unterscheiden: 1839–1848 (MEGA² IV/1–6), 1849–1860 (IV/7–16), 1861–1872 (IV/17–21), 1873–1883 (IV/22–31). Siehe den Überblick über die Bände der IV. Abteilung im Anhang.

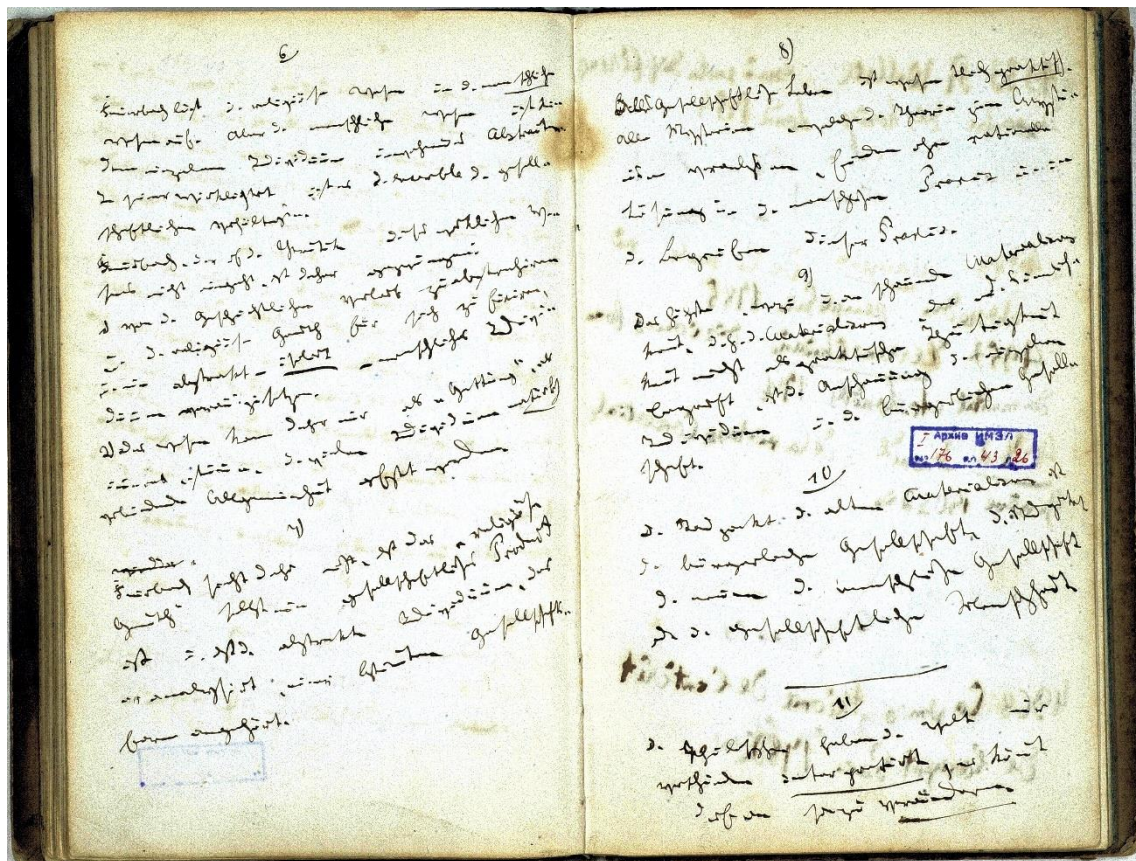


Abb. 1: Marx: Notizbuch aus den Jahren 1844–1847, 1) ad Feuerbach, Thesen 6–11, S. 56/57, in: MEGA² IV/3, S. 20/21 (Original: RGASPI Moskau, Sign. f. 1, op. 1, d. 132)

Im Laufe des Jahres 1844 ergriff Marx in Paris die Möglichkeit, systematische Studien der ökonomischen Wissenschaft zu betreiben. Zu den exzerpierten britischen Autoren gehörten Adam Smith, John Ramsay MacCulloch, David Ricardo, James Mill und James Lauderdale, deren Bücher Marx in französischer Übersetzung las. Weiterhin studierte er die Werke französischer Ökonomen wie Jean-Baptiste Say, Destutt de Tracy, Eugène Buret und Pierre de Boisguillebert sowie die Schriften der deutschen Nationalökonomien Wolfgang Christoph Schütz und Friedrich List. Die *Pariser Hefte* enthalten zahlreiche Bemerkungen und Kommentare von Marx (Rumjanzewa, 1980). Seine erste Begegnung mit der klassischen politischen Ökonomie rief zugleich seine kritische Reaktion hervor, die ihn zur Niederschrift eines Manuskripts führte, das bei seiner Erstveröffentlichung (1932) redaktionell als *Ökonomisch-philosophische Manuskripte aus dem Jahre 1844* bezeichnet wurde (siehe MEGA² I/2, 187–438). Offenbar erst nach diesem Manuskript (siehe MEGA² IV/3, *Einführung*, 450) exzerpierte Marx David Ricardo (die französische Ausgabe „Des principes de l'économie...“ von 1823) und James Mills Schrift „Éléments d'économie politique“, letzteres Exzerpt zeugt von Marx' Interesse an der Geld- und Kredittheorie und an dem im Geld bzw. Kredit „versteckten“ gesellschaftlichen Verhältnis der sich austauschenden Eigentümer (MEGA² IV/2, 428–470). Zu jener Zeit legte sich Marx das erste von 20 überlieferten Notizbüchern an, welches eine „einzigartige Quelle für seine *biographie intellectuelle*“ ist (MEGA² IV/3, *Einführung*, 450/451), da darin u.a. Bücherlisten enthalten sind, die Titel aus dem Bereich der Jurisprudenz, Geschichte, Philosophie, politischen Ökonomie und der schönggeistigen Literatur umfasst – „Zu kaufen oder sonst zu verschaffen“, wie Marx notierte (MEGA² IV/3, 8). Außerdem hier zu

finden die berühmten Thesen „1) ad Feuerbach“ (Abb. 1), vermutlich nach Engels' Ankunft in Brüssel geschrieben, vielleicht noch im April, vielleicht auch etwas später bis Anfang Juni 1845 (MEGA² IV/3, 490).

Brüssel bildete die neue Station in Marx' Leben und zugleich einen neuen Abschnitt des Studierens: die sechs *Brüsseler Hefte 1845*, die er bis zu Beginn seiner Englandreise (10. Juli 1845) beschrieb, behandeln sozialökonomische (soziale Folgen der Industrialisierung, Pauperismus), finanzpolitische (Geld, Handel, Kredit) und industriell-technische („Maschinenfrage“) Probleme. Marx hatte am 1. Februar 1845 einen Vertrag über die Lieferung einer zweibändigen „Kritik der Politik und Nationalökonomie“ unterzeichnet, den er im anvisierten Zeitraum nicht erfüllen konnte, da sich der Kreis der zu behandelten Probleme stetig erweiterte. Hier sei speziell Heft 5 angeführt, das Studien über Arbeitsteilung, Maschinerie und Industrie (Winkelmann 1982) enthält, so u.a. ausführliche Exzerpte aus Büchern von Charles Babbage und Andrew Ure. Marx ging es in seinen Studien vornehmlich um ökonomische und soziale Aspekte der Anwendung von Maschinen (MEGA² IV/3, 460), weniger um technische Kennzeichen derselben, wenn er auch die von Babbage gegebene Definition einer Maschine notierte, die er später mehrfach zitierte (MEGA² IV/3, 331).⁷

Im Sommer 1845 ergab sich für Marx eine gemeinsame Englandreise mit Engels nach Manchester und London. Marx schaffte es, während dieser Zeit neun Hefte zu beschreiben, während von Engels lediglich drei Hefte überliefert sind (siehe MEGA² IV/4 und IV/5, Wasina 1989). Sie hatten im Frühjahr 1845 zwei Bücher veröffentlicht: die gemeinsam verfasste Schrift *Die heilige Familie* und die *Lage der arbeitenden Klasse in England* von Engels (MEGA² I/4). Während Marx nun weiter an seiner bereits erwähnten „Nationalökonomie“ arbeitete, wandte sich Engels einem Buch über die soziale Geschichte Englands zu.

Aus diesen Exzerpten geht hervor, wie intensiv Marx sich mit einer politischen Sprache der Klassen und des Klassenkampfes beschäftigte und zugleich das Ziel verfolgte, sich die Kritik der politischen Ökonomie anzueignen.⁸ Für die erste Richtung stehen u.a. William Cobbett, Thomas Carlyle und John Wade; für die zweite u.a. McCulloch, Nassau W. Senior und John Stuart Mill. Und Marx stieß in Manchester auf zwei weitere Autoren, die ihn prägen sollten: Robert Owen und Francis Bray (Bohlender 2013; Grassmann 2015). Owen verkörperte eine sozialistische Weltanschauung, die „die Vorstellungskraft der breiten Massen fesselte“ (Thompson 1987, 909).

In den Studienmaterialien jener Zeit wird das für Marx stets immanente historische Herangehen an alle Untersuchungen deutlich. Er prüfte jeden Gegenstand auf seine geschichtliche Entstehung, seine Vorbedingungen und seine Fortentwicklung. Die Wissenschaft der Geschichte war für ihn die natürliche und menschliche Welt übergreifende Wissenschaft. Der Grundsatz von der „prozessierenden Totalität“ zeigt sich auch im „globalen“ Denken von Marx, in seinen Analysen der weltweiten Prozesse. Ein frühes Beispiel dafür ist sein großes Exzerpt aus Gustav von Gülichs fünfbandigem Werk „Geschichtliche Darstellung des Handels, der Gewerbe und des Ackerbaus der bedeutendsten handelstreibenden Staaten unserer Zeit“ aus dem Jahre 1847 (MEGA² IV/6), das ihn fortan als systematischer Wissensspeicher durch seine wissenschaftliche Arbeit begleitete. Die Angaben über die großen Wirtschaftsmächte seiner Zeit werden hier ebenso gründlich exzerpiert wie die zu den kleineren Ländern Europas, Nordamerikas, den neuen Staaten Lateinamerikas, Westindiens, Vorder-, Mittel- und Ostasiens, Australiens oder zu den damals noch wenig bekannten Gebieten

⁷ Siehe weiterhin in *Das Elend der Philosophie* (MEW 4, 153) und im ersten Band des *Kapitals* (MEGA² II/5, 306).

⁸ Marx las die Autoren in englischer Sprache und übersetzte sie in seinen Exzerpten unmittelbar ins Deutsche; er eignete sich also die Begrifflichkeit der politischen Ökonomie und das Vokabular der englischen Sozialisten an (MEGA² IV/5, 348, Bohlender 2015).

Afrikas, Innerasiens und der Inselreiche der Südsee. Konzeption und Inhalt dieses Exzerpts belegen überzeugend, dass das Erkenntnistreben von Marx von Anbeginn universell war.

Als Marx 1849 Köln verlassen musste, gab er seine persönliche Bibliothek in die Obhut seines Freundes Roland Daniels. Dieser fertigte anderthalb Jahre später einen Bestandskatalog an (MEGA² IV/5, 295–306), aus dem hervorgeht, wie vielfältig und umfassend die französische, englische und deutsche Literatur vertreten war. Es handelt sich um rund 500 Titel. Erst Ende 1860 kehrte diese Bibliothek zu Marx nach London zurück.⁹

1850er Jahre: Geld, Finanzpolitik, Krise und europäische Außenpolitik

Die zweite Etappe begann mit Marx' Emigration nach London und endete mit seiner Auseinandersetzung mit Karl Vogt (1860). Zunächst liegen uns die 24 *Londoner Hefte* (1850–1853) vor, die am weitesten gefasste Quellenbasis für seine Analyse der bürgerlichen Gesellschaft (Jahn/Noske, 1979; Jahn 1994, 43–54; Galander/Galander 2015, 22–27). Nachdem sich Marx ein Verzeichnis seiner Exzerpte aus den vierziger Jahren angefertigt hatte (MEGA² IV/7, 27/28), begann er im Heft I seine Studien mit den englischen Ökonomen, u.a. John Stuart Mill, John Fullarton, Thomas Tooke. Dabei ging es Marx um die konkreten Probleme des Geldes, der Geldzirkulation, der Geschichte der Preisbildung. Außerdem interessierten ihn die finanzpolitischen Entscheidungen der britischen Regierung. Dabei wiederum spielten Freihandel und Protektionismus als ökonomische Mittel des Welthandels eine wichtige Rolle. Und letztlich kam Marx auch so zu den Handels- und Finanzkrisen. Schon nach Heft 6 – bis dahin hatte er weiter u.a. Robert Torrens, Nassau William Senior und Germain Garnier gelesen – stellte er unter dem Titel *Bullion. Das vollendete Geldsystem* die Meinungen von etwa 80 exzerpierten Autoren zum Geld- und Bankensystem zusammen (MEGA² IV/8, 3–76; Wygodski 1978, 80–91; Schrader 1980). Kennzeichnend ist, dass Marx parallel dazu den „Economist“, die wichtigste und damals weltweit bedeutendste ökonomische Zeitschrift, regelmäßig auswertete und sich wichtige Agenturmeldungen über die Börsenentwicklung notierte.

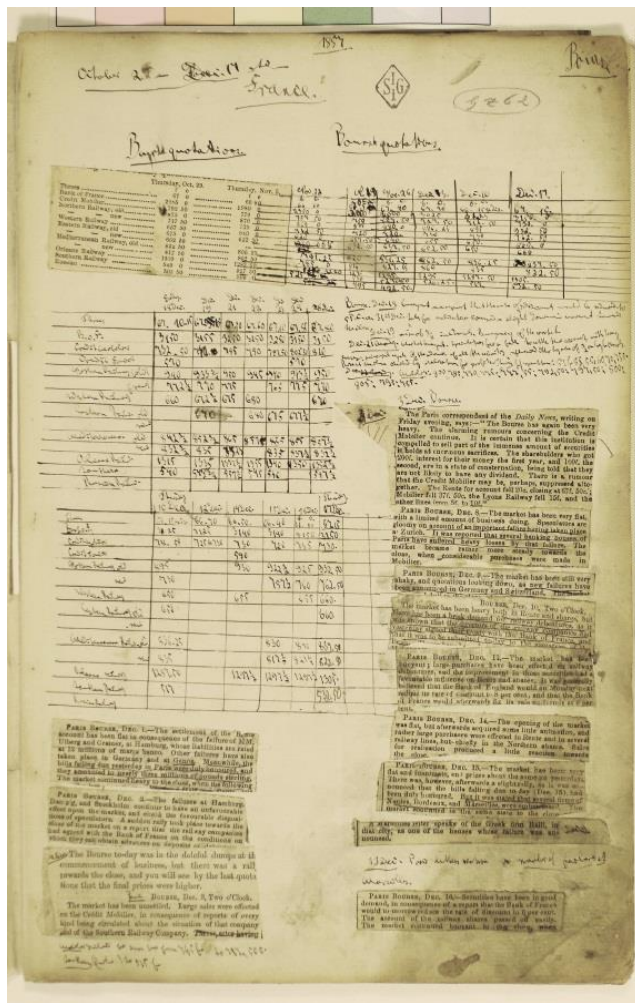


Abb. 2: Marx: 1857 France, S. 1, in: MEGA² IV/14, S. 4–10 (Original: IISG Amsterdam, Marx-Engels-Nachlass, Sign. B 88)

⁹ Siehe Marx an Carl Siebel, 3. Januar 1861, MEGA² III/11, 289.

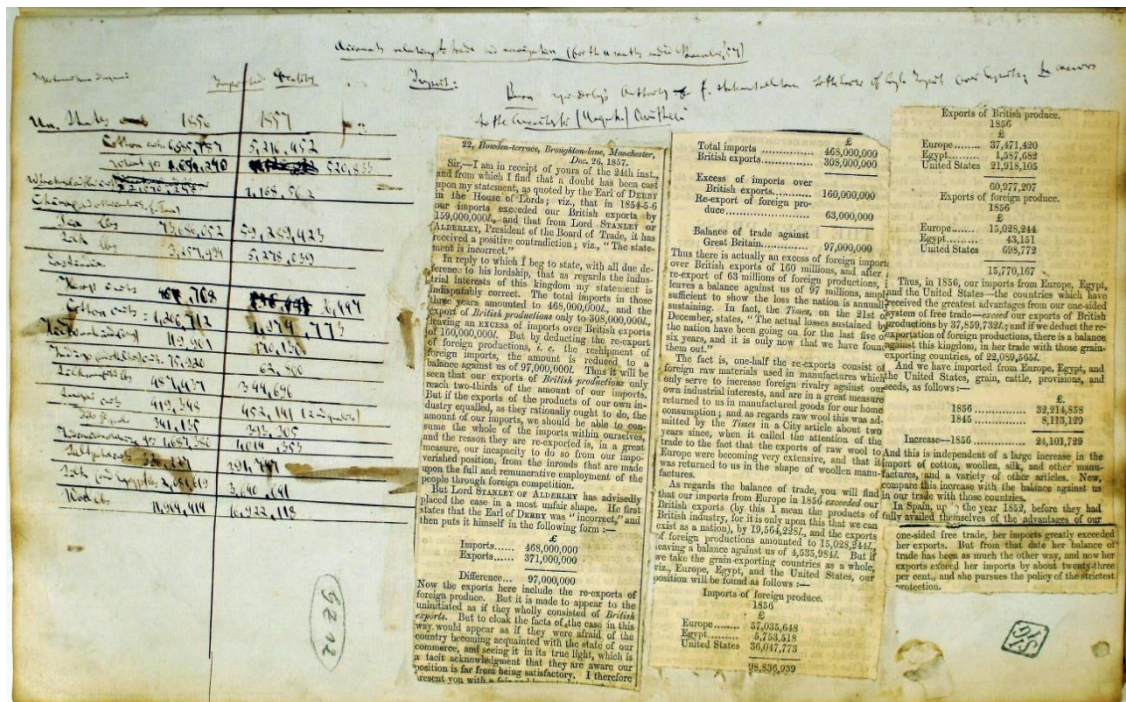


Abb. 3: Marx: *Book of the Crisis of 1857*, S. 23, in: MEGA² IV/14, S. 114–117 (Original: IISG Amsterdam, Marx-Engels-Nachlass, Sign. B 84)

In den folgenden Heften (VIII–XI) wandte sich Marx wieder stärker den *Principles of Political Economy* – den Grundsätzen der politischen Ökonomie – zu. Er studierte u.a. erneut Smith, Ricardo und James Stuart, nunmehr in der Originalsprache. Schrittweise befasste er sich näher mit der Literatur über soziale Fragen und der Gestaltung des Arbeitslohns, z.B. bei Henry Charles Carey und Thomas Hodgskin (MEGA² IV/8–10; Hoff 2008).¹⁰

Thematisch stellt das Heft XV eine Besonderheit dar: es enthält Exzerpte aus mehreren Büchern von Johann Heinrich Moritz Poppe (über Mechanik, allgemeine Technologie und ihre Geschichte), von Andrew Ure (technisches Wörterbuch) und Johann Beckmann (Geschichte der Erfindungen) (MEGA² IV/10). Marx geht es in dem Heft nicht darum, die Technologie als Wissenschaft zu konstituieren, sondern ihn interessiert die technologisch-historische Fragestellung. Die Technologie erst in Beziehung zu den gesellschaftlichen Verhältnissen gesetzt, ergibt ein angemessenes Verständnis von der materiellen Basis der Gesellschaft (Müller 1981, LXXX/LXXXI; Müller 1992).

In vier Heften (XIV, XXI–XXIII) wurden von Marx die außereuropäischen Gebiete ausführlich behandelt, vor allem in Hinblick auf das Kolonialsystem, das die damals vorherrschende Form der internationalen Ausbreitung kapitalistischer Verhältnisse darstellte. Dabei konzentrierte sich Marx besonders auf den asiatischen Raum. Diese Studien waren grundlegend für die Entwicklung seiner Auffassungen über die „asiatische Produktionsweise“ in den *Grundrissen der Kritik der politischen Ökonomie*, Abschnitt „[Formen, die der kapitalistischen Produktion vorhergehen]“ (MEGA² II/1, 378–415). Als Marx seine Tätigkeit als Korrespondent für die damals weltweit größte Tageszeitung, die „New York Daily Tribune“, begann, sah er sich mit vielfältigen politischen Konflikten zwischen den Großmächten in Europa konfrontiert. Außerdem bescherte ihm und Engels der Mitte der 1850er Jahre ausgebrochene Krimkrieg viel Arbeit: Marx vertiefte sich in die britische und russische Außenpolitik, während

¹⁰ Die letzten Hefte sind noch nicht publiziert (MEGA² IV/11).

Engels sich militärischen Fragen zuwandte. Bereits vor dem Krimkrieg hatte Marx zwei Heftserien (1853–1855) niedergeschrieben: Exzerpte zur Geschichte der Diplomatie und zur Geschichte Spaniens (MEGA² IV/12).

Bei Ausbruch der ersten Weltwirtschaftskrise 1857 legte sich Marx drei Kontorbücher (Abb. 2 u. 3) an, in denen er thematisch und chronologisch geordnet Zeitungsausschnitte und wichtige statistische Angaben über den Verlauf dieser Krise sammelte (MEGA² IV/14; Hecker/Mori 2018). Daraus ergibt sich der spezifische Charakter dieser Hefte. In ihnen sind kommentarlos Ausschnitte aus dem „Economist“, den Zeitungen „Manchester Guardian“, „The Times“ u.a. eingeklebt. Ähnliche thematische Zeitungsausschnittsammlungen legte sich Marx zu einigen weiteren wichtigen Ereignissen an, bis in die 1870er Jahre in Hefte eingeklebt, aber auch in Mappen lose gesammelt. Das besondere dieser Krisenhefte besteht darin, dass sie Marx zugleich als Arbeitshefte nutzte, die Daten in Tabellen aufarbeitete, wichtige Fakten hervorhob und Resümees verfasste; sie stellen eine Konjunkturdatenanalyse dar. Im Zusammenschnitt von Zeitungsausschnitten liegt die Spezifik dieser Exzerpte im Unterschied zu vorangegangenen Exzerpten, z.B. aus dem „Economist“, wo Marx Passagen in zusammenfassender und größtenteils übersetzter Form wiedergab, die in den MEGA-Bänden IV/7 bis IV/10 bereits veröffentlicht wurden. Die von Marx analysierten Ereignisse in der Sphäre der Börse, des Kredits und des Kapitalumlaufs waren Erscheinungen einer Überproduktionskrise. Die Statistik jener Zeit erfasste zwar umfangreich und detailliert alle Fakten der Geldkrise, gab jedoch unzureichende Informationen über die Krise in der Industrie. Marx nahm wesentliche Fakten aus dem Krisenverlauf auf und schuf im Rahmen des parallel entstandenen ökonomischen Manuskripts 1857/1858 (MEGA² II/1) einen „glänzenden Exkurs über das Realisierungs- und das Krisenproblem“ (Rosdolsky 1968, 22). Außerdem nutzte Marx dieses Material für einige Leitartikel und Kommentare in der „New York Daily Tribune“.¹¹

Im Vorwort von *Zur Kritik der Politischen Ökonomie* zog Marx 1859 ein berühmtes Resümee seiner Studien, das, wie er schrieb, „einmal gewonnen“ ihm „zum Leitfaden“ diene – es ist nichts weniger als die dialektische und historische Analyse der Menschheitsgeschichte, in der die Menschen „bestimmte, nothwendige, von ihrem Willen unabhängige Verhältnisse“ eingehen (MEGA² II/2, 100/101). Diese gesellschaftlichen Verhältnisse, die „Anatomie der ‚bürgerlichen Gesellschaft‘“, die „Produktionsverhältnisse“ sind der Gegenstand Marxscher Untersuchung. Nach fast zehnjähriger Auseinandersetzung mit der *Empirie*, die die „entscheidenden Anstöße zur Weiterentwicklung der *Theorie*“ gegeben hatte (Grassmann 2022, 327), beabsichtigte Marx die Ergebnisse seines Studiums des „Systems der bürgerlichen Oekonomie“ in der Reihenfolge von „*Kapital, Grundeigentum, Lohnarbeit; Staat, auswärtiger Handel, Weltmarkt*“ darzustellen (MEGA² II/2, 99). Gegenüber Engels hatte er gemeint, dass die „ganze Scheiße“ in 6 Bücher „zerfallen“ soll.¹²

1860er Jahre: Systematisierung der politischen Ökonomie

Gewissermaßen den Übergang von der zweiten zur dritten Etappe bildete die heftige Auseinandersetzung von Marx mit den Verleumdungen von Karl Vogt, die ihm ein Lebensjahr kostete (MEGA² I/18). Marx breitete in seiner Streitschrift *Herr Vogt* in aller Ausführlichkeit die Tätigkeit des Bundes der Kommunisten und der Herausgabe der „Neuen Rheinischen Zeitung“ in den

¹¹ Nachgewiesen werden kann die Übernahme von Informationen aus den Krisenheften in sieben Artikeln für die „New York Daily Tribune“, die Marx in der Zeit zwischen dem 27. November 1857 und dem 22. Januar 1858 verfasste.

¹² Marx an Engels, 2. April 1858, MEGA² III/9, 122.

Jahren 1848/49 aus. Dafür stellte er in einem Notizbuch und in zwei Exzerptheften Briefe und Zeitungsauszüge zusammen (MEGA² IV/16). Gleichzeitig knüpfte er auch das Netz zu den alten Kampfgefährten, die in verschiedene Länder emigriert waren, wieder enger.

Unübersehbar bildete die Systematisierung der ökonomischen Theorie und ihre logische Darstellung den Hauptschwerpunkt in Marx' Schaffen in den 1860er Jahren. Kulminationspunkt war das Erscheinen des ersten Bandes des *Kapitals* (1867). Ihm voran ging die Ausarbeitung der nunmehr geplanten drei Bücher dieses Werks und einer Geschichte der Theorie in zwei großen Manuskriptkomplexen, die in der II. Abteilung nun geschlossen vollständig vorliegen (MEGA² II/3 und II/4). Allerdings gehören zu diesen Bänden noch vier weitere Bände aus der IV. Abteilung, von denen noch die folgenden zwei unveröffentlicht sind. Zum einen stellte Marx noch vor der Vogt-Auseinandersetzung in zwei Heften (*Heft VII. Political Economy Criticism of* und *Citatenheft. 1859–1860*) Exzerpte und Auszüge aus seinen vorangegangenen Heften zusammen (Müller 1992, 290–325 u. 329–335; Focke 1978) und verschaffte sich so einen Überblick über sein Material (MEGA² IV/15).¹³ Zum anderen gehören dazu die *Beihefte A bis H* zum ökonomischen Manuskript 1861–1863, die sich Marx im Mai/Juni 1863 anlegte und die eine Ergänzung zu den *Theorien über den Mehrwert* darstellen (MEGA² IV/17).¹⁴

Weiterhin folgten in den Jahren 1864 bis 1869 umfangreiche Exzerpte, die zwei Bände füllen. So enthält z.B. ein einziges Marx'sches Exzerptheft von 1867/68 Auszüge aus annähernd 30 Schriften, darunter zur Geschichte der Mathematik, zur ökonomischen Lage der englischen Arbeiter, zur Geschichte der Jesuiten in Frankreich, zur Kritik von Friedrich Albert Lange an den Ansichten von John Stuart Mill über die soziale Frage und Karl Arnds Polemik gegen Wilhelm Roschers Betrachtung der Naturgesetze der Volkswirtschaft, zur Natur und zur Geschichte der Landwirtschaft, zur Rolle der Trade Unions, dazwischen übergreifende Notizen aus den Werken von Charles-Louis Baron Montesquieu und Eugen Dühring. Ein weiteres Heft aus dieser Zeit vereint auf 364 Handschriftenseiten Exzerpte aus mehr als 30 verschiedenen Quellen zu ökonomischen, landwirtschaftlichen, technischen, chemischen, demographischen, gesetzgeberischen, historischen u.a. Themen (MEGA² IV/18 und IV/19; Otani/Tairako 2013).

An den Exzerpten wird deutlich, dass sich Marx in dieser Zeit intensiv den Problemen der Entwicklung in der Landwirtschaft, der Agrarwissenschaften einschließlich der Agrarchemie zuwandte (Hecker 2011; Hecker 2016; Saito 2015). Einerseits war dies nicht zufällig, hatte er doch in seinem Manuskript des dritten Buches des „Kapitals“, das er in der Zeit von Sommer 1864 bis Dezember 1865 verfasst hatte, auf über 120 Manuskriptseiten die „Verwandlung von Surplusprofit in Grundrente“ behandelt (MEGA² II/4.2, 667–833), ein Thema, das ihm sicherlich als noch nicht ausreichend dargestellt erschien. Einige deutsche Agrartheoretiker wurden von ihm darin bereits erwähnt, wie Justus von Liebig und Hermann Maron. An Engels schrieb Marx, dass für eine Abhandlung über Grundrente die „neue Agrochemie in Deutschland, speziell Liebig und [Christian Friedrich] Schönbein, ... wichtiger für diese Sache als alle Ökonomen zusammengenommen“¹⁵ seien. Marx lenkte mit diesem

¹³ Beide genannten Hefte umfassen zusammen rund 300 Handschriftenseiten. Es handelt sich um Zitate zu den Problemen: Kapital, Geld, Ware, Arbeitskraft, Arbeitsproduktivität, Mehrwert, Agrikultur, Profit- und Arbeitslohnverhältnisse, Produktionskosten, Akkumulation des Kapitals, Profitrate, Maschinerie, Geschichte der Industrie und Agrikultur, fixes und zirkulierendes Kapital, Reproduktion des Kapitals, produktive und unproduktive Arbeit, Zirkulation des Kapitals, Geschichte der Theorien über den Mehrwert u.a.

¹⁴ Die acht Hefte umfassen insgesamt 786 Seiten und Exzerpte von 150 Autoren (Schnickmann 1979; Ananyin 2014).

¹⁵ Marx an Engels, 13. Februar 1866, MEW 31, 178.

Hinweis die Aufmerksamkeit auf eine wissenschaftliche Debatte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die mit wichtigen Entdeckungen in der Agrarwissenschaft bzw. -chemie verbunden war. Es ging dabei um die Pflanzenernährung, wobei historisch lange umstritten war, ob die Pflanzen sich einzig von Humus ernähren (*Humustheorie*), oder ob mineralische Nährelemente für die Pflanzenernährung ausschlaggebend sind. Marx exzerpierte über zwei Jahre ausführlich die Standpunkte der Vertreter beider Richtungen.¹⁶ Noch Anfang 1868 bat er Engels, bei Carl Schorlemmer anzufragen, „wie jetzt die Streitfrage zwischen den Mineraldünger- und Stickstoffdünger-Männern steht“.¹⁷

Andererseits gingen diese Studien schon weit über die Grundrentenfrage im *Kapital* hinaus. Marx hat sich immer wieder mit Vorstellungen über Strukturen und Organismen (organischen Vorgängen) in den Naturwissenschaften beschäftigt, was für ihn sowohl Anregung als auch Bestätigung für die Analyse gesellschaftlicher Strukturen und Formen war. In dieser Hinsicht hat Saito diese Exzerpte, an deren Bearbeitung für die MEGA² er z.T. beteiligt war, in seinem jüngsten Buch (2023) als „fundamentale Wende“ in Marx' Denken wohl überinterpretiert (Münkler 2023), indem er meint, dass die Erderwärmung nur durch ein Ende („Degrowth“) des kapitalistischen Wirtschaftswachstums begrenzt werden kann, das auch mit einer Begrenzung des weltweiten Bevölkerungswachstums einhergehen müsste. „Degrowth“ kann in einer globalisierten Weltwirtschaft nicht nur auf eine alternde Bevölkerung in Japan bezogen werden.

In diese Periode fallen die Gründung und die Tätigkeit der Internationalen Arbeiterassoziation (1864–1876), in der Marx als Mitglied des Generalrats die Inauguraladresse und viele wichtige Dokumente ausarbeitete (bis 1872).¹⁸

1870er Jahre: Einheit von Gesellschaft, Ökonomie und Natur

Die Problematik der Einheit von Gesellschaft und Natur, der Wechselwirkung zwischen den Geistes- und Naturwissenschaften zieht sich, wie bereits festgestellt, lebenslang durch die Studien von Marx und Engels (Griese/Sandkühler 1997, 95–98, Griese 1999; Wolf 2006, Vollgraf 2023). Das war auch der ungestüm wachsenden Rolle der Naturwissenschaften bei der Entwicklung der materiellen Produktion geschuldet, z.B. die enormen Fortschritte der Chemie, deren revolutionierenden Resultate den Gegenstand der letzten großen Exzerpte von Marx (1879–1883) bilden (MEGA² IV/31).

Zuvor war Marx Anfang der 1870er mit der Herausgabe der 2. Auflage des ersten Bandes des *Kapitals* und seiner französischen Übersetzung beschäftigt. Es ist nicht verwunderlich, dass sich in deren Vorworten versteckte Hinweise auf die Studienmaterialien finden, da es

¹⁶ Justus von Liebig: *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, Braunschweig 1840. Die 4. Auflage von 1842 hatte Marx bereits im Heft XII und XIII der *Londoner Hefte* im Juli/August 1851 konспектиert (MEGA² IV/9, 172–213). In einer Streitschrift wandte sich Franz Xaver von Hlubek gegen Liebig: *Beleuchtung der organischen Chemie des Herrn Doctor J. Liebig in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, Grätz 1842. Weiterhin konспектиerte Marx u.a. ausführlich die Bücher von Carl Fraas: *Geschichte der Landwirtschaft*, Prag 1852; *Die Natur der Landwirtschaft*, 2 Bde, München 1857; *Klima und Pflanzenwelt in der Zeit*, Landshut 1847 (MEGA² IV/18 und IV/19).

¹⁷ Marx an Engels, 3. Januar 1868, MEW 32, 5 (Vollgraf 2016, 106–132).

¹⁸ Die Mehrheit der Materialien zur Tätigkeit der IAA wird in der I. Abteilung der MEGA² veröffentlicht (MEGA² I/19 bis I/24). In der IV. Abteilung werden diesbezügliche Dokumente in MEGA² IV/21 zusammengefasst.

„keinen Königsweg für die Wissenschaft“¹⁹ gibt, sondern nur „steile Pfade“, die es zu erklimmen gilt, also die Forschung den „Stoff sich im Detail anzueignen“ hat, ehe die „wirkliche Bewegung entsprechend dargestellt werden“ kann (MEW 23, 31, 27). Ein „Montblanc“²⁰ an Material war zwar im *Kapital* verarbeitet, aber auf Marx warteten neue Herausforderungen.

Marx analysierte erneut die aktuellen wirtschaftlichen Prozesse, sei es Ende der 1860er Jahre die Geld- und Kreditkrise²¹ oder der dem Gründerboom folgende Gründerkrach 1873 (MEGA² IV/25). Etwas später exzerpierte er sogar die Autobiografie eines der schillerndsten Persönlichkeiten des Aufstiegs und Falls eines Berliner Industriellen, nämlich von Bethel Henry Strousberg (Ohlsen, 1987).²² Das internationale Bank- und Finanzwesen hatte sich rasant entwickelt. So ist es nicht verwunderlich, dass Marx ab 1877 neueste internationale Literatur auf diesem Gebiet studierte.²³ Ihn interessieren verstärkt die Entwicklung von Wechselkursen und damit verbundene Währungsoperationen. In diesem Zusammenhang liest er auch ein 20 Jahre vorher erschienenes Buch über kaufmännische Arithmetik (Friedrich Ernst Feller, Carl Gustav Odermann). Hinzu kommt die Beschäftigung mit Büchern über Mathematik (Schlaudt, 2013).²⁴ Parallel dazu konspektiert er Bücher über die deutsche (Karl Dietrich Hüllmann) und italienische Finanzgeschichte (Pietro Rota).

Bei der Arbeit am dritten Band des *Kapitals* Mitte der 1870er Jahre (MEGA² II/14, 438–456) rückte die Sammlung von empirischem und statistischem Material aus den USA immer mehr in das Blickfeld von Marx. Er betonte in seinem Briefwechsel, dass das „interessante Feld für den Ökonomen [...] jetzt zweifellos in den Vereinigten Staaten und vor allem in der Periode von 1873 [...] bis 1878 – der Periode der chronischen Krisen“ liege.²⁵

Neben der „Globalisierung“ der Finanzwelt befindet sich mit der „Ökologie“ ein weiteres, heute besonders aktuelles Forschungsgebiet im Studienspektrum von Marx und Engels. Schon die ersten Untersuchungen über die Auswirkungen der Tätigkeit des Menschen auf das Gesicht der Erde, auf das Klima, auf die Pflanzen- und Tierwelt fanden ihre ungeteilte Aufmerksamkeit. Von den vielen Beispielen, die ihre Studienmaterialien dafür bieten, seien

¹⁹ In der französischen Ausgabe von *Le Capital* (1875): „Il n’y a pas de route royale pour la science“ (MEGA² II/7, 9).

²⁰ Der Begriff „Montblanc an Tatsachen“ wurde von Vygotskij (Wygodski 1967, 39) geprägt. Vygotskij gab erstmals eine quellenbasierte Übersicht über die Studienmaterialien und ordnete sie in die Entstehungsgeschichte des *Kapitals* ein. Leider kann dies von dem Büchlein von Wheen (2008) nicht gesagt werden. In dem Kapitel „Reifezeit“ (Wheen 2008, 13–41) wird kein konkretes Exzerpt angeführt. Es heißt dort über die 1850er Jahre lediglich: „Je mehr er forschte und schrieb, desto weiter schien es [das geplante Werk] sich von der Vollendung zu entfernen.“ (Wheen 2008, 31.)

²¹ Eine brasilianische Forschungsgruppe an der Universität Cedeplar-UFMG in Belo Horizonte hat über das Exzerptheft „1869 I. Heft“ – darin sind auf 90 Seiten die Berichte der Bank of England und Zeitungsausschnitte aus „The Money Market Review“ und „The Economist“ des Jahres 1868 gesammelt – einen Bericht veröffentlicht (De Paula et al. 2016).

²² Marx exzerpierte das Buch: *Dr. Strousberg und sein Wirken. Von ihm selbst geschildert*, Berlin 1876.

²³ G. Ricca-Salerno: *Sulla teoria del capitale*, Milano 1877; A. Walker: *Our national currency and the money problem*, New York, Chicago, New Orleans 1876; J. P. Gassiot: *Monetary panics and their remedy, with opinions of the highest authorities on the bank charter act*, 2. ed., London 1867. Dazu gehören auch die ausführlichen Exzerpte die Marx aus dem zweibändigen Werk von I. I. Kaufmann über Theorie und Praxis des Bankgeschäfts in russischer Sprache anfertigt. Er hatte die Bücher von N. F. Danielson aus St. Petersburg erhalten, so dass diese mit vielen Marginalien überliefert sind (MEGA² IV/32, Nr. 658).

²⁴ Die mathematischen Exzerpte werden in einem thematischen Band zusammengefasst (MEGA² IV/30). Siehe die Veröffentlichung in K. Marks (1968): *Matematičeskie rukopisi* [Mathematische Handschriften], Moskva (zweisprachig: original und russische Übersetzung) (Vogt, 2018).

²⁵ Marx an Nikolai Franzewitsch Danielson, 15. November 1878, MEW 34, 359.

nur einige angeführt²⁶ und auf den besonderen Stellenwert, den diese Problematik in Marx' geologischen Studien (1878) einnimmt, hingewiesen.

Als Marx im Vorwort von *Zur Kritik der politischen Ökonomie* schrieb, dass die „asiatische, antike, feudale und modern bürgerliche Produktionsweisen“ als progressive Epochen der ökonomischen Gesellschaftsformation bezeichnet werden“ (MEGA² II/2, 101) können, hatte er die Analogie zur geologischen Formation durchaus im Kopf (MEGA² II/3.6, 1972). Marx' Interesse an Geologie geht bis auf seine Schulzeit, und damit auf seinen Naturkundelehrer Johann Steiniger, zurück. In der *Deutschen Ideologie* gab er im Zusammenhang mit den Bedingungen der Geschichte den Hinweis auf „Hegel. Geologische, hydrographische etc. Verhältnisse“ (MEW 3, S. 28). Marx las gelegentlich neue Bücher zur Geologie; sein Interesse an dieser Wissenschaft ging so weit, dass er in London nicht nur einige öffentliche Vorlesungen zu damals aktuellen Debatten besuchte (1867 und 1868 waren neue, überarbeitete und viel diskutierte Auflagen von Charles Lyells „Principles of geology“ erschienen), sondern 1869 an einer 3tägigen geologischen Expedition in Yorkshire unter Leitung von John Roche Dakyns teilnahm. Im Mittelpunkt der geologischen Studien von 1878 (MEGA² IV/26) stand Joseph Jukes' „The student's manual of geology“, 3. Auflage, Edinburgh 1872 (Abb. 4), das er so gründlich wie kaum ein anderes naturwissenschaftliches Werk studierte, wobei er sich beim Exzerpieren – wie er das übrigens oft tat – nicht an die Reihenfolge im Buche hielt, auch etwa gleichzeitig angefertigte chemische Exzerpte heranzog und Querverweise zu ihnen notierte. Obwohl am zweiten und dritten Band des *Kapitals* arbeitend, erachtete es Marx für notwendig, sich mit diesem Fachgebiet auseinanderzusetzen, sicher – wie Martin Hundt bemerkte – war damit ein interdisziplinärer Erkenntnisgewinn verbunden (Hundt, 2014, 132).

Seit 1868 korrespondierte Marx mit dem der russischen Volkstümlerbewegung nahestehenden Übersetzer des *Kapitals* Nikolaj F. Danielson aus St. Petersburg, der ihm russische



Abb. 4: Marx: Exzerpt aus J. B. Jukes: *The student's manual of geology*, Edinburgh 1872, S. 294, in MEGA² IV/26, S. 575–577 (Original: IISG Amsterdam, Marx-Engels-Nachlass, Sign. B 145)

²⁶ C. Fraas: *Klima und Pflanzenwelt in der Zeit, ein Beitrag zur Geschichte beider*, Landshut 1847; J. C. Houzeau: *Klima und Boden. Die Lehre von der Witterung, die Veränderungen des Wetters und die Gestaltung der Erde*, Leipzig 1861; J. F. W. Johnston: *Elements of agricultural chemistry and geology*, Edinburgh, London 1856; A. A. Mühy: *Klimatographische Übersicht der Erde*, Leipzig, Heidelberg 1862; ders.: *Klimatologische Untersuchungen oder Grundzüge der Klimatologie in ihrer Beziehung auf die Gesundheits-Verhältnisse der Bevölkerungen*, Leipzig, Heidelberg 1858; M. J. Schleiden, E. E. Schmidt: *Encyclopädie der gesamten theoretischen Naturwissenschaften in ihrer Anwendung auf die Landwirthschaft*, Bd. 1–3, Braunschweig 1850.

politische und ökonomische Literatur vermittelte. Auf diese Weise sammelten sich 115 Bücher an, die Marx als „Russisches in my bookstall“ bezeichnete (MEGA² IV/32, 39–42; *Russkie knigi* 1979). Von Januar 1875 bis Februar 1876 beschrieb Marx sieben Hefte mit Auszügen über die sozialökonomische und politische Entwicklung Russlands nach den Reformen der 1860/70er Jahre. Darunter befanden sich auch wichtige Werke zum Gemeinde-landbesitz in Russland (MEGA² IV/27).²⁷

Das Studium der Geschichte des Grundeigentums weitete sich Mitte der 1870er Jahre aus. Marx studierte die Bücher von Georg Ludwig Maurer und Georg Hanssen und im Folgenden wiederum neueste internationale Literatur über landwirtschaftliche Entwicklung und Agrarkrisen.

In den Jahren von 1880 bis 1882 hat Marx die ethnologischen Schriften von Lewis Henry Morgan, John Budd Phear, Henry Sumner Maine und John Lubbock in zwei Heften exzerpiert und kommentiert (MEGA² IV/27). Ihr Herausgeber Lawrence Krader sieht in den Exzerpten dieser Autoren „Knotenpunkte miteinander zusammenhängender Gedankenstränge, die in verschiedenen Richtungen [...] verfolgt werden“. Sie führen „von der Erforschung der primitiven Gesellschaft [...] zur Entwicklungsgeschichte der Gesellschaft und [...] zu den Problemen des Kolonialismus sowie des technologischen Fortschritts in der Agrikultur“ (Krader 1976, 10).

Mit nicht nachlassendem Eifer exzerpierte Marx auch in seinem siebenten Lebensjahrzehnt neu erscheinende Titel, so u.a. in einem Heft, das er mit „Oekonomisches en général“ betitelte. In diesem 92 Seiten umfassenden Heft (es blieben noch rund 30 Seiten leer) finden sich auch zwei Neuerscheinungen deutscher Nationalökonomien, nämlich Adolph Wagner und Adolf Soetbeer (MEGA² IV/28).²⁸

Mit den umfangreichen „Chronologischen Auszügen“²⁹ zur Weltgeschichte aus Marx' letzten Lebensjahren schließt sich ein Kreis (MEGA² IV/29), spannt sich ein großer Bogen zu seinen frühen Gülich-Exzerpten (Krätke 2016). Während seinerzeit die ökonomischen Verhältnisse im Weltmaßstab im Vordergrund standen, sind es jetzt die Gesellschaftsverhältnisse, die Staatsformen, die soziologisch-politischen Entwicklungen, die ihn in erster Linie interessieren. Welche neuen theoretischen Erkenntnisse, wohl auch hinsichtlich der Gesellschaftsformationen, ihrer möglichen Übergangs- und Sonderformen (die asiatische Gesellschaft spielt auch hier wieder eine besondere Rolle), Marx mit Hilfe dieser synchronoptischen Aufbereitung weltgeschichtlicher Daten zu gewinnen trachtete, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Aus dieser gedrängten Darstellung sollte deutlich werden, dass Marx den tiefen Zusammenhang von Natur- und Gesellschaftswissenschaften in umfassender Weise zur Kenntnis genommen und seinem Werk zugrunde gelegt hat. Jede Reduzierung seiner Quellen auf einzelne Wissensgebiete wird ihm daher nicht gerecht. Der weitere Fortgang der Veröffentlichung von Marx' Exzerpten in der MEGA² – sei es in Buch- oder digitaler Form – bedeutet einen erweiterten Zugang zu diesen Quellen.

²⁷ Darunter befindet sich das Exzerpt aus M. M. Kovalevskij: *Obščinnoe zemlevladienie...*, 1879 (Hartstick 1977; Fomičev 2014).

²⁸ Adolph Wagner: *Lehrbuch der politischen Oekonomie*, 1. Bd., 2. Aufl. 1879; Adolf Soetbeer: *Umfang und Vertheilung des Volks-Einkommens im Preußischen Staate 1872–1878*, Leipzig 1879.

²⁹ Aus dem 18bändigen Werk von Friedrich Christoph Schlosser: *Weltgeschichte für das deutsche Volk*, Frankfurt/M. 1844–1857, fertigte Marx Exzerpte in seinen Heften III und IV an (Marx, Engels, Lenin, Stalin, 1953, 285–516).

Bibliografie

Marx-Engels-Werke

Marx-Engels-Gesamtausgabe (MEGA²), erscheint seit 1975 in Berlin (bis 1998: Karl Dietz Verlag, ab 1998: Akademie Verlag, seit 2015: De Gruyter), seit 1991 herausgegeben von der Internationalen Marx-Engels-Stiftung (IMES).

MEGA² I/2, Marx: *Werke · Artikel · Entwürfe. März 1843 bis August 1844*, Berlin 1982.

MEGA² I/4, Marx, Engels: *Werke · Artikel · Entwürfe. Ende August 1844 bis April 1846*, Berlin 2022.

MEGA² I/18, Marx, Engels: *Werke · Artikel · Entwürfe. Oktober 1859 bis Dezember 1860, (Herr Vogt u. a.)*, Berlin 1984.

MEGA² II/1, Marx: *Ökonomische Manuskripte 1857/58. (Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie)*, Berlin 1976, 1981 (2 Teile), 2. unveränd. Aufl. 2006 (1 Band).

MEGA² II/2, Marx: *Ökonomische Manuskripte und Schriften, 1858–1861. (Zur Kritik der politischen Ökonomie u. a.)*, Berlin 1980.

MEGA² II/3, Marx: *Zur Kritik der politischen Ökonomie (Manuskript 1861–1863)*, Berlin 1976–1982 (6 Teile), 2. unveränd. Aufl. 2013 (3 Bände).

MEGA² II/4, Marx: *Ökonomische Manuskripte 1863–1868*, Berlin 1988–2012 (3 Bände)

MEGA² II/5, Marx: *Das Kapital. Kritik der Politischen Ökonomie. Erster Band, Hamburg 1867*, Berlin 1983.

MEGA² II/6, Marx: *Das Kapital. Kritik der Politischen Ökonomie. Erster Band, Hamburg 1872*, Berlin 1987.

MEGA² II/7, Marx: *Le Capital, Paris 1872–1875*, Berlin 1989.

MEGA² II/14, Marx: *Manuskripte und redaktionelle Texte zum dritten Buch des „Kapitals“, 1871 bis 1895*, Berlin 2003.

MEGA² III/9, Marx, Engels: *Briefwechsel. Januar 1858 bis August 1859*, Berlin 2003.

MEGA² III/11, Marx, Engels: *Briefwechsel. Juni 1860 bis Dezember 1861*, Berlin 2005.

MEGA² IV/2, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. (Kreuznacher Hefte u.a.)*, Berlin 1981.

MEGA² IV/3, Marx: *Exzerpte und Notizen. Sommer 1844 bis Anfang 1847. (Feuerbach-Thesen, Pariser Hefte u. a.)*, Berlin 1998 (Einführung, 449–482).

MEGA² IV/5, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. Juli 1845 bis Dezember 1850. (Manchester Hefte 6–9 u.a.)*, Berlin 2015.

MEGA² IV/6, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. September 1846 bis Dezember 1847. (Gülich-Exzerpte)*, Berlin 1983.

MEGA² IV/8, Marx: *Exzerpte und Notizen. März bis Juni 1851. (Bullion. Das vollendete Geldsystem, Londoner Hefte VII–X)*, Berlin 1986.

MEGA² IV/9, Marx: *Exzerpte und Notizen. Juli bis September 1851. (Londoner Hefte XI–XIV)*, Berlin 1991.

MEGA² IV/10, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. September 1851 bis Juli 1852. (Marx: Londoner Hefte XV–XVIII, Engels: Glossen zu Proudhons „Idée générale...“ und Russisch-Studien)*, Berlin 2023.

MEGA² IV/11, Marx: *Exzerpte und Notizen. Juli 1852 bis August 1853 (Londoner Hefte XIX–XXIV)*, geplant.

MEGA² IV/12, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. September 1853 bis Januar 1855. (Marx: Geschichte der Diplomatie und Geschichte Spaniens; Engels: Militaria)*, Berlin 2007.

- MEGA² IV/15, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. Januar 1858 bis Februar 1860 (Kritik der politischen Ökonomie, insbes. Zitatenheft, Militaria)*, geplant.
- MEGA² IV/16, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. Februar 1860 bis Dezember 1863 (Vogtiana, Geschichte der polnischen Frage, Militaria)*, geplant.
- MEGA² IV/17, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. Mai bis Juni 1863 (Kritik der politischen Ökonomie)*, geplant.
- MEGA² IV/18, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. Februar 1864 bis August 1868 (Politische Ökonomie, insbes. Landwirtschaft)*, Berlin 2019.
- MEGA² IV/19, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. September 1868 bis September 1869 (Politische Ökonomie, insbes. Geldmarkt und Krisen)*. Berlin 2021 (Online-Veröffentlichung auf [MEGAdigital](#)).
- MEGA² IV/21, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. September 1869 bis Dezember 1874 (Irische Frage, Tätigkeit der Internationalen Arbeiterassoziation)*, geplant.
- MEGA² IV/25, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen. Januar 1877 bis März 1879 (Politische Ökonomie, insbes. Bank- und Finanzwesen, kaufmännische Arithmetik)*, geplant.
- MEGA² IV/26, Marx, Engels: *Exzerpte und Notizen zur Geologie, Mineralogie und Agrikulturchemie. März bis September 1878*, Berlin 2011.
- MEGA² IV/30, Marx: *Mathematische Exzerpte aus den Jahren 1863, 1878 und 1881 (insbes. Trigonometrie, Algebra und Differentialrechnung)*, geplant.
- MEGA² IV/31, Marx, Engels: *Naturwissenschaftliche Exzerpte und Notizen. Mitte 1877 bis Anfang 1883*, Berlin 1999.
- MEGA² IV/32, *Die Bibliotheken von Karl Marx und Friedrich Engels. Annotiertes Verzeichnis des ermittelten Bestandes*, Berlin 1999.

Marx-Engels-Werke (MEW), erscheinen seit 1956 in Berlin: Karl Dietz Verlag, seit 2006 erfolgt die Herausgabe durch die Rosa-Luxemburg-Stiftung (RLS), 2018 erschien Band 44.

- MEW 4, 1990 (1959), Marx, Engels: *Werke Mai 1846–März 1848. Das Elend der Philosophie*, Berlin, 63–182.
- MEW 31, 1986 (1965), Marx, Engels: *Briefe Oktober 1864–Dezember 1867*, Berlin.
- MEW 32, 2009 (1985), Marx, Engels, *Briefe Januar 1868–Mitte Juli 1870*, Berlin.
- MEW 34, 2000 (1966), Marx, Engels: *Briefe Januar 1875–Dezember 1880*, Berlin.

Einzelausgaben

- Marx, Engels, Lenin, Stalin (1953): *Zur deutschen Geschichte*, Bd. 1: *Von der Frühzeit bis zum 18. Jahrhundert*, Berlin: Dietz Verlag.
- Marks, Karl (1968): *Matematičeskie rukopisi* [Mathematische Handschriften], Moskva: izd. Nauka [Wissenschaftsverlag].
- Russkie knigi v bibliotekach K. Marksa i F Engel'sa* (1979), hrsg. von B. M. Rudjak u.a., Moskva: izd. Političeskoj literatury [Verl. für Politische Literatur].

Kommentierende Literatur

- Ananyin, Oleg (2014): „Quorum pars magna fui: On the Cantillon–Marx connection“, *The European Journal of the History of Economic Thought*, DOI: 10.1080/09672567.2014.905615.
- Bohlender, Matthias (2013): „Marx, ein Exzerpt und der ‚falsche Bruder‘. Zu einer Genealogie der ‚Kritik der politischen Ökonomie‘“, *Karl Marx – Perspektiven der Gesellschaftskritik*, hrsg. von Rahel Jaeggi und Daniel Loick, Berlin/Boston: De Gruyter, 109–121 (*Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Sonderband 34*).
- Bohlender, Matthias (2015): *Einführung* zu MEGA² IV/5, 337–361.
- De Paula, João et al. (2016): „Investigating Financial Innovation and Stock Exchanges. Marx's Notebooks on the crisis of 1866 and structural changes in capitalism“, *Zu den*

- Studienmaterialien von Marx und Engels, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2014/15)*, Hamburg: Argument, 194–217.
- Focke, Wolfgang (1978): „Das ‚Citatenheft‘ von Karl Marx“, ... *unsrer Partei einen Sieg erringen. Studien zur Entstehungs- und Wirkungsgeschichte des „Kapitals“ von Karl Marx*, Berlin: Verlag Die Wirtschaft, 130–137.
- Fomičev, Valerij (2014): „Marx' Exzerpt von S. A. Podolinskij: Le Travail Humain et la Conservation de l'Énergie (Revue internationale des sciences biologiques, 1880)“, *Marx und Russland, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2012)*, Hamburg: Argument, 112–122.
- Galander, Ehrenfried, Ulrike Galander (2015): „Die Londoner Hefte – eine Vorgeschichte des Aufbauplans“, *Marx' Sechs-Bücher-Plan. Eine Debatte*, Hamburg (*Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2013*), Hamburg: Argument, 22–27.
- Grassmann, Timm (2015): „Marx in Manchester. Karl Marx und die britische Linke in den Manchester-Heften“, *Marx-Engels-Jahrbuch 2014*, Berlin/Boston. De Gruyter, 32–81.
- Grassmann, Timm (2022): *Der Eklat aller Widersprüche. Marx' Theorie und Studien der wiederkehrenden Wirtschaftskrisen*, (De Gruyter Marx Forschung, hrsg. von Andreas Arndt u. Gerald Hubmann, Bd. 4), Berlin/Boston: De Gruyter.
- Griese, Anneliese, Hans Jörg Sandkühler (Hrsg.) (1997): *Karl Marx – zwischen Philosophie und Naturwissenschaften*, Frankfurt/M. u.a.: Peter Lang.
- Griese, Anneliese (1999): *Einführung zu MEGA² IV/31*, 627–650.
- Harstick, Hans-Peter (1977): *Karl Marx über Formen vorkapitalistischer Produktion. Vergleichende Studien zur Geschichte des Grundeigentums*, Frankfurt/M., New York: Campus Verlag (mit Supplementband: Maksim Kovalevskij: *Obščinnoe zemlevadenie, pričiny, chod i posledstvija ego razložženija* [Der Gemeindelandbesitz]. Unveränd. fotomech. Nachdruck der Ausg. von 1879).
- Hecker, Rolf (2001): „Fortsetzung und Ende der ersten MEGA zwischen Nationalsozialismus und Stalinismus (1931–1941)“, *Stalinismus und das Ende der ersten Marx-Engels-Gesamtausgabe (1931–1941)*, (*Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge. Sonderband 3*), Hamburg: Argument, 181–311.
- Hecker, Rolf (2011): „Hermann Maron – Land- und Betriebswirt, Agrarexperte in der preußischen Ostasien-Expedition und Journalist“, *Das Kapital und Vorarbeiten. Entwürfe und Exzerpte*, (*Beiträge zur Marx-Engels-Forschung: Neue Folge 2010*), Hamburg: Argument, 173–194.
- Hecker, Rolf (2016): „Marx' Exzerpte aus Franz Xaver von Hlubek: Die Landwirtschaftslehre in ihrem ganzen Umfange ... (Wien 1853)“, *Zu den Studienmaterialien von Marx und Engels, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2014/15)*, Hamburg: Argument, 218–229.
- Hecker, Rolf (2016): „Marx' Studienmaterialien: thematische Vielfalt und inhaltliche Konstanten“. *Zu den Studienmaterialien von Marx und Engels, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2014/15)*, Hamburg: Argument, 89–105.
- Hecker, Rolf, Kenji Mori (2018): „Die Weltwirtschaftskrise 1857 und Marx' Krisenhefte“, „*Kritik im Handgemenge*“. *Die Marx'sche Gesellschaftskritik als politischer Einsatz*, Matthias Bohlander u.a. (Hrsg.), Bielefeld: transcript Verlag, 139–157.
- Hecker, Rolf, Manfred Neuhaus, Richard Sperl (2018): „MEGA I“, *Historisch-kritisches Wörterbuch des Marxismus*, Bd. 9/I, hrsg. von W. F. Haug u.a., Hamburg: Argument, Sp. 387–400.
- Hoff, Jan (2008): *Karl Marx und die „ricardianischen Sozialisten“: Ein Beitrag zur Geschichte der politischen Ökonomie, der Sozialphilosophie und des Sozialismus*, Köln: PapyRossa Verlag.

- Hundt, Martin (2014): „Wie und zu welchem Ende studierte Marx Geologie?“, *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin*, 121, Berlin: trafo Verlag, 117–133.
- Jahn, Wolfgang, Dietrich Noske (1979): „Fragen der Entwicklung der Forschungsmethode von Karl Marx in den Londoner Exzerptheften von 1850–1853“, *Arbeitsblätter zur Marx-Engels-Forschung*, H. 7, Halle: Martin-Luther-Universität, 4–111.
- Jahn, Wolfgang (1994): „Marx und die Gruppe der ‚Arbeitsgeldtheoretiker‘ innerhalb der sog. ricardianischen Sozialisten“, *Quellen und Grenzen von Marx' Wissenschaftsverständnis*, Hamburg (*Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 1994*), Hamburg: Argument, 43–54.
- Krader, Lawrence (1976): *Karl Marx: Die ethnologischen Exzerpthefte*, Frankfurt/M.: Suhrkamp (engl. Ausgabe Assen 1972).
- Krätke, Michael (2016): „Marx und die Weltgeschichte“, *Zu den Studienmaterialien von Marx und Engels*, (*Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2014/15*), Hamburg: Argument, 133–177.
- Müller, Hans-Peter (1981): *Karl Marx: Die technologisch-historischen Exzerpte. Historisch-kritische Ausgabe*, Frankfurt/M., Berlin, Wien: Ullstein.
- Müller, Hans-Peter (1992): *Karl Marx über Maschinerie, Kapital und industrielle Revolution. Exzerpte und Manuskriptentwürfe 1851–1861*, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Münkler, Herfried (2023): „Da kann doch der Kapitalismus nur fallen“, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 30. November, <https://www.faz.net/-gro-bire6> (Abruf: 5.3.2024).
- Ohlsen, Manfred (1987): *Der Eisenbahnkönig Bethel Henry Stroussberg. Eine preußische Gründerkarriere*, Berlin: Verlag der Nation.
- Otani Teinosuke, Tomonaga Tairako (Ed.) (2013): *Reading Marx From His Excerpt-Notebooks*, Tokyo (jap.).
- Rosdolsky, Roman (1968): *Zur Entstehungsgeschichte des Marxschen „Kapital“*, Frankfurt/M. u.a.: Europäische Verlagsanstalt.
- Rumjanzewa, Nelly (1980): „Zur Veröffentlichung der Pariser Hefte von Karl Marx im Band IV/2 der MEGA“, *Marx-Engels-Jahrbuch 3*, Berlin: Dietz Verlag, 275–293.
- Saito, Kohai (2015): „Marx' Fraas-Exzerpt und der neue Horizont des Stoffwechsels“, *Marx-Engels-Jahrbuch 2014*, Berlin/Boston: De Gruyter, 117–140.
- Saito, Kohai (2016): *Natur gegen Kapital. Marx' Ökologie in seiner unvollendeten Kritik des Kapitalismus*, Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Saito, Kohai (2023): „Systemsturz“: *Der Sieg der Natur über den Kapitalismus*, München: dtv.
- Schlaudt, Oliver (2013): „Der ‚Umschlag in der Methode‘: Marx' mathematische Manuskripte als Anregung zu einer Theorie wissenschaftlicher Begriffsbildung bei Soľja A. Janovskaja“, *Zum Wirken von Marx und Engels und zur Editions-geschichte ihrer Werke*, (*Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2011*), Hamburg: Argument, 73–94.
- Schnickmann, Artur (1979): „Marx' ‚Beihefte‘ von 1863, *Beiträge zur Marx-Engels-Forschung*, H. 5, Berlin: IML, 99–104.
- Schrader, Fred E. (1980): *Restauration und Revolution. Die Vorarbeiten zum „Kapital“ von Karl Marx in seinen Studienheften 1850–1858*, Hildesheim: Gerstenberg Verlag.
- Sperl, Richard (2004): „Die Vierte Abteilung (Exzerpte, Notizen, Marginalien) – immanenter Bestandteil oder bloßes Additivum der Marx-Engels-Gesamtausgabe?“, *„Edition auf hohem Niveau“*. *Zu den Grundsätzen der Marx-Engels-Gesamtausgabe (MEGA)*, (*Wissenschaftliche Mitteilungen*, H. 5, hrsg. vom Berliner Verein zur Förderung der MEGA-Edition e.V.), Hamburg: Argument, 68–87.
- Thompson, Edward P (1987): *Die Entstehung der englischen Arbeiterklasse*, Bd. 2, Frankfurt/M.: Suhrkamp.

- Vogt, Annette (2018) unter Mitarbeit von Erhard Scholz: „Mathematische Manuskripte“, *Historisch-kritisches Wörterbuch des Marxismus*, Bd. 9/I, hrsg. von W. F. Haug u.a., Hamburg: Argument, Sp. 331–341.
- Vollgraf, Carl-Erich (2016): „Marx über die sukzessive Untergrabung des Stoffwechsels der Gesellschaft bei entfalteter kapitalistischer Massenproduktion“, *Zu den Studienmaterialien von Marx und Engels*, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 2014/15), Hamburg: Argument, 106–132.
- Vollgraf, Carl-Erich (2023): „Naturwissenschaftliche Exzerpte“, *Historisch-kritisches Wörterbuch des Marxismus*, Bd. 9/II, hrsg. von W. F. Haug u.a., Hamburg: Argument, Sp. 2276–2296.
- Wasina, Ljudmila (1989): „Zur Veröffentlichung der Manchester-Hefte von Marx in der Vierten Abteilung der MEGA“, *Marx-Engels-Jahrbuch 11*, Berlin: Dietz Verlag, 230–241.
- Weller Paul (1994): „Zur Edition der Exzerpte in der MEGA (1935)“, *Quellen und Grenzen von Marx' Wissenschaftsverständnis*, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung. Neue Folge 1994), Hamburg: Argument, 200–207.
- Wheen, Francis (2008): *Über Karl Marx. Das Kapital*, München: dtv.
- Winkelmann, Rainer (Hrsg.) (1982): *Karl Marx: Exzerpte über Arbeitsteilung, Maschinerie und Industrie. Historisch-kritische Ausgabe*, Frankfurt/M., Berlin, Wien: Ullstein.
- Wolf, Dieter (2006): „Die Einheit von Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Ein modernes interdisziplinäres Projekt von Marx und Engels“, *Karl Marx und die Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert*, (Beiträge zur Marx-Engels-Forschung: Neue Folge 2006), Hamburg: Argument, 92–133.
- Wygodski, Witali Solomonowitsch (1967): *Die Geschichte einer großen Entdeckung*, Berlin: Verlag Die Wirtschaft.
- Wygodski, Witali S. (1978): „Zum Manuskript „Reflection“ von Karl Marx in Heft VII der Londoner Exzerpte“, ... *unsrer Partei einen Sieg erringen. Studien zur Entstehungs- und Wirkungsgeschichte des „Kapitals“ von Karl Marx*, Berlin: Verlag Die Wirtschaft, 80–91.

E-Mail-Adresse des Verfassers: r.hecker@leibnizsozietat.de; rolffritzhecker@online.de

Überblick über die Bände der IV. Abteilung der MEGA²

Bd.	Zeitraum	Thematische Schwerpunkte	Bemerkungen
1	1838 - 1842	Berliner und Bonner Hefte (Marx), Religionskritik (Engels)	Erschienen
2	1843 - Jan.1845	Kreuznacher und Pariser Hefte (M), Bevölkerungstheorie (E)	Erschienen
3	Sommer 1844 - Sommer 1845	Brüsseler Hefte (M)	Erschienen
4	Juli-Aug.1845	Manchester-Hefte (M/E)	Erschienen
5	Aug.1845 - 1849	Manchester- u. Brüsseler Hefte (M/E)	Erschienen
6	Sept.1846 - Dez.1847	Wirtschaftsgeschichte (Gülich-Exzerpte) (M)	Erschienen
7	Sept.1849 - Febr.1851	Londoner ökonomische Hefte (M) Hefte I-VI	Erschienen
8	Febr. 1851 - Juni 1851	Bullion. Das vollendete Geldsystem Londoner ökon. Hefte (M) Hefte VII-X.	Erschienen
9	Juli 1851 - Sept. 1851	Londoner ökon. Hefte (M) Hefte XI-XIV	Erschienen
10	Sept. 1851 - Juni 1852	Londoner ökon. Hefte (M) Hefte XV-XVIII	Erschienen
11	Juli 1852 - Aug. 1853	Londoner ökon. Hefte (M) Hefte XIX-XXIV	In Bearbeitung
12	Sept. 1853 - Nov. 1854	Geschichte der Diplomatie (4 Hefte), Geschichte Spaniens (5 Hefte) (M), Militaria (E)	Erschienen
13	Nov. 1854 - Okt. 1856	Polit. Ökonomie, Geschichte der Diplomatie (M), Krimkrieg, Slavica (M/E), Militaria (E)	
14	Okt. 1857 - Febr. 1858	Verlauf der Weltwirtschaftskrise von 1857 (M)	Erschienen
15	Jan. 1858 - Febr. 1860	Kritik der polit. Ökonomie, bes. Zitateheft (2.Stufe) (M), Militaria (E)	Bearbeitung begonnen
16	Febr. 1860 - Dez. 1863	Vogtiana, Geschichte der polnischen Frage (M); Militaria (E)	Weitgehend bearbeitet

17	Mai - Juni 1863	Kritik der polit. Ökonomie (Beihefte A bis H) (M)	In Bearbeitung
18	Febr. 1864 - Aug. 1868	Polit. Ökonomie, insbes. Landwirtschaft (M)	Erschienen
19	Sept. 1868 - Sept. 1869	Polit. Ökonomie, insbes. Geldmarkt, Krisen (M) https://megadigital.bbaw.de/exzerpte/index.xql	Digital veröffentlicht,
20	Apr. 1868 - Dez. 1870	Geschichte Irlands, polit. ökon. und soziale Ver- hältnisse (E)	
21	Okt. 1869 - Dez. 1874	Irische Frage (M), Tätigkeit der IAA, ihrer Sektio- nen und des Generalrats (M/E)	
22	Jan. 1875 - Febr. 1876	Russica (Entwicklung Russlands nach den Refor- men) (M)	In Bearbeitung
23	März-Juni 1876	Physiologie, Technikgeschichte (M); Geschichte (E)	
24	Mai-Dez. 1876	Geschichte Grundeigentum, Rechts- und Verfas- sungs-Geschichte (M)	
25	Jan. 1877 - März 1879	Polit. Ökonomie, bes. Bank- und Finanzwesen, kaufm. Arithmetik (M); Geschichte (M/E)	Wird digital veröf- fentlicht
26	Mai-Sept. 1878	Geologie, Mineralogie, Agronomie, Agrochemie, Agrarstatistik, Erdgeschichte, Welthandelsge- schichte (M)	Erschienen
27	1879-1881	Ethnologie, frühe Geschichte, Geschichte d. Grundeigent. (M)	Teilweise digital ver- öffentlicht (vollstän- dig Mitte 2024)
28	1879-1882	Geschichte Russlands und Frankreichs, vor allem agrarisches Verhältnisse (M), Geschichte des Grundeigentums (E)	In Bearbeitung
29	1881-1882	Chronologische Übersichten und synchronoptische Tabellen zur Weltgeschichte (M)	
30	1863, 1878, 1881	Mathematik, vor allem Trigonometrie, Algebra, Dif- ferentialrechnung (M)	In Bearbeitung
31	1879-1895	Organ. u. anorg. Chemie (M), naturwissen. u. hist. Studien (E)	Erschienen
32	Gesamte Schaffens- zeit	Die Bibliotheken von Marx und Engels. Annotiertes Verzeichnis des festgestellten Bestandes und Edi- tion der Marginalien (Arbeitstitel)	Erschienen



Rezension zu: Luc Saner: Allgemeiner Teil der Wissenschaften. Auf dem Weg zur Einheit der Wissenschaft und zu einem echten Studium Generale, akademien der wissenschaften schweiz 2023, DOI: 10.5281/zenodo.7764971 (377 Seiten); Neufassung von Luc Saner (Hrsg.): Studium generale: Auf dem Weg zu einem allgemeinen Teil der Wissenschaften. Springer Spektrum 2014, ISBN -10 3658041579 (416 Seiten).

Werner Ebeling (MLS)

Veröffentlicht: 20. März 2024

Wir begehen in diesem Jahr den 300. Geburtstag von Immanuel Kant und da halten wir Ausschau nach Projekten, die Kants Anliegen wenigstens in Anspruch auf Universalität ähneln. Das hier zur Besprechung vorliegende Werk stammt von einem Schweizer Autor. Der Advokat Dr. Luc Saner hat in Basel eine einflussreiche Gesellschaft „Au Bon Sens“, eine Art „Think Tank“, gegründet und ist ihr Präsident. Die Mitglieder dieser Gesellschaft denken seit Jahrzehnten über grundlegende Fragen der Gestaltung unserer Gesellschaft und deren Zukunft nach, unterstützt durch zahlreiche Freunde und Wissenschaftler aus Europa. Es geht diesem Kreis um ähnlich breite Ziele, wie sie in Kants „Was ist Aufklärung?“ und auch in Leibniz‘ Aufklärungsphilosophie formuliert wurden. Die vorliegende neue Fassung des Werkes wurde vom Autor auf einer Veranstaltung der Schweizer Akademien im August 2023 nach einer kurzen Einführung von Marcel Tanner, Präsident der Akademien, herausgebracht.

Die Materialien postulieren als Lösung vieler grundlegender Probleme der Gegenwart ein echtes Studium Generale, das im Gegensatz zu den existierenden Ansätzen seinen Absolventen das Orientierungswissen und die methodischen Grundlagen vermitteln soll, worin sich die Fachstudien einbetten lassen. Deshalb kann es als allgemeiner Teil der Wissenschaften dienen. Der so ausgebildete Teil der Studenten soll in der Lage sein, die Aufgaben und die Verantwortung in unserem Anthropozän wahrzunehmen, so insbesondere in strategischer und organisatorischer Hinsicht. Nach dem Vorschlag sollten wenige, aber geeignete Studierende ein solches echtes Studium generale absolvieren und das vorliegende Werk sollte ihrer Ausbildung dienen, sowie die Ideen in die Öffentlichkeit tragen. Der Anspruch ist, vielleicht eine ähnliche Wirkung zu erzielen, wie der «Wiener Kreis» um Moritz Schlick ab den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts. Wie gut bekannt, wurde der Physiker und Philosoph Moritz Schlick 1923 von Rostock an die Universität Wien berufen, wo er einen einflussreichen Kreis gründete, der aber letztlich nach der Machtergreifung des Faschismus an Rassismus und Intoleranz scheiterte.

Das Baseler Projekt gründet sich auf eine umfangreiche Ausarbeitung, deren Kern das vorliegende Werk darstellt. Es enthält eine Gesamtschau der heutigen Wissenschaft und der Situation der Welt. Das ist ein sehr verdienstvolles Vorhaben und es wäre billig, an einzelnen Punkten herumzumäkeln, wo der Autor und seine Mitstreiter noch nicht das mögliche Niveau erreichen. Dem Rezensenten gefällt besonders, dass der Gedanke der Evolution den Ausgangspunkt und die zentrale Rolle spielt. Das ist genau der richtige Ansatz. Man ist aber weniger glücklich mit einigen strikten Aussagen über so komplizierte Themen wie Wahrheit und Lüge und zum Staat. Das sind ja alles Themen, die von Kant und Leibniz mit großer

Offenheit diskutiert werden, die aber heute von unseren Politikern und Journalisten nur apodiktisch behandelt werden, was gewissermaßen eine schlechte Version der Theodizee ist. Auf jeden Fall ist Dr. Saners Vorhaben sehr verdienstvoll und anregend, es ist allerdings auch deutlich zu sehen, dass die Aufgabe, ein Gesamtbild der Welt und ein Zukunftsprojekt zu entwerfen, seit Kant vor knapp 300, Leibniz vor etwa 250 und Schlick vor ca. 100 Jahren, viel schwieriger geworden ist. Das soll nicht heißen, ein solches Projekt sei sinnlos, ganz im Gegenteil, es ist dringender denn je. Aber über den Erfolg entscheidet ja letztlich nur eine praktische Umsetzung.

E-Mail-Adresse des Verfassers: woebel@email.de



Information über ein Internet-Korpus von DDR-Texten an der HU Berlin

Ruth Reiher (MLS)

Veröffentlicht: 20. März 2024

Abstract

„Texts from East Germany“ mainly consists of previously unpublished texts covering aspects of everyday language use in East Germany. In addition to contracts, evaluations, manuals, menus and personal ads, it contains numerous private letters and some speeches and conversations in the original audio and as transcripts.

The texts provide an insight into the use of language in day-to-day life in the GDR. They help us to understand the historical development and about regional, social, contextual and other differences. They also explain why the producers and recipients of these and similar texts still communicate differently than perhaps expected, even after over 30 years of “German unity”.

As part of this collection of texts, a “selected bibliography of language in the GDR” was also compiled.

The link to the body of work is: <https://hu.berlin/ddrkorpus>

Resümee

Das Korpus „Texte aus der DDR“ enthält fast ausschließlich alltagssprachliche Texte, die bislang nicht veröffentlicht wurden. Neben Verträgen, Beurteilungen, Gebrauchsanweisungen, Speisekarten, Kontaktanzeigen umfasst es zahlreiche Privatbriefe und einige mündliche Texte im Originalton und als Transkription.

Diese Texte vermitteln einen Einblick in den tatsächlichen alltäglichen DDR-Sprachgebrauch. Sie geben Auskunft über dessen historische Entwicklung, über regionale, soziale, situative und andere Unterschiede. Sie erklären aber auch, warum sich die Produzenten und Rezipienten dieser und ähnlicher Texte nach über 30 Jahren „Deutsche Einheit“ kommunikativ anders verhalten als häufig erwartet.

Im Rahmen dieser Text-Sammlung wurde gleichzeitig eine „Auswahlbibliographie zur Sprache in der DDR“ zusammengestellt.

Um das Korpus zu finden, folgen Sie bitte dem Link: <https://hu.berlin/ddrkorpus>.

Keywords/ Schlüsselwörter

German Language, language in the GDR, GDR language use, everyday language of the GDR, bibliography on language in the GDR

Deutsche Sprache, Sprache in der_DDR, DDR-Sprachgebrauch, Alltagssprache der DDR, Bibliographie zur Sprache in der DDR

E-Mail-Adresse der Verfasserin: ruth.reiher@online.de