ISSN 0947-5850
ISBN 978-3-86464-229-6

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät • Band 153 Jg. 2022

trafo verlag

SITZUNGSBERICHTE

LEIBNIZ-SOZIETÄT DER WISSENSCHAFTEN

Triebkräfte der Entwicklung in Natur, Technik und Gesellschaft

Kolloquium zu Ehren von
Werner Ebeling, Armin Jähne,
Werner Kriesel und Heinz-Jürgen Rothe
am 17.02.2022

Herausgegeben von
Horst Kant & Gerhard Pfaff

Mit Beiträgen von
Gerhard Banse, Werner Ebeling, Ulrike Feudel, Lutz-Günther Fleischer, Gerda Haßler, Tilo Heimbold, Armin Jähne, Horst Kant, Werner Kriesel, Dirk Lippig, Anna-Marie Metz, Gerhard Pfaff, Andreas Schwarcz, Erdmute Sommerfeld, Heinz-Jürgen Rothe, Dietmar Telschow

BAND 153

JAHRGANG 2022

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

ist eine freie Vereinigung von Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaftlern. In ihren Traditionen geht sie zurück auf die im Jahre 1700 gegründete Kurfürstlich-Brandenburgische Societät der Wissenschaften, eine der ältesten wissensenschaftlichen Institutionen in Deutschland, sowie auf ihren geistigen Vater und ersten Präsidenten, Gottfried Wilhelm Leibniz. Mit ihr ist sie historisch durch die über Jahrhunderte ununterbrochene Zuwahl ihrer Mitglieder und deren wissenschaftliches Wirken verknüpft.

Die Sozietät, im Jahre 1993 mit Sitz in Berlin konstituiert, baut auf eigenständigen Forschungen ihrer Mitglieder auf und bietet ihnen ein Forum der Diskussion und Publizität. Im Plenum, in den Klassen und Arbeitskreisen pflegen ihre Mitglieder und Gäste besonders den interdisziplinären Diskurs und die Erörterung aktueller Grundprobleme von Wissenschaft und Gesellschaft. Die Sozietät will durch ihre Tätigkeit einen angemessenen Beitrag zum geistigen Leben in unserer Zeit leisten.

Vorstand (Präsidium) der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

Herbert Hörz; Wissenschaftsphilosophie und -geschichte
Ehrenpräsident

Gerda Haßler; Sprachwissenschaft, Romanistik
Präsidentin

Lutz-Günther Fleischer; Verfahrenstechnik, Thermodynamik
Vizepräsident

Dorothee Röseberg; Romanistik, Kulturwissenschaft
Vizepräsidentin

Heinz-Jürgen Rothe; Arbeitspsychologie
Schatzmeister

Gerhard Pfaff; Chemie
Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften

Kerstin Störl; Linguistik, Romanistik, Altamerikanistik
Sekretarin der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften

Begründet im Jahre 1700
als Brandenburgische Societät der Wissenschaften

LEIBNIZ-SOZIETÄT: SITZUNGSBERICHTE

SITZUNGSBERICHTE
BAND 153 JAHRGANG 2022

LEIBNIZ-SOZIETÄT DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN

Diese Publikation erfolgte mit freundlicher Unterstützung des Senats von Berlin.

Impressum

Herausgeberin: Gerda Haßler, Präsidentin der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
Briefanschrift: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin
Homepage http://www.leibnizsozietaet.de

Briefanschrift der Redaktion:
Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., Redaktionskollegium,
Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin

Im Auftrag der Leibniz-Sozietät e.V. erschienen im trafo Wissenschaftsverlag
Dr. Wolfgang Weist, Finkenstr. 8, 12621 Berlin
Telefon: 030/612 99 418
e-mail: info@trafoberlin.de

Druck: Ortmaier Druck, Frontenhausen

Bezugsbedingungen: Die Reihe „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“ erscheint in unregelmäßigen Abständen etwa viermal jährlich.
Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt beim trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist.

Redaktionelle Durchsicht dieses Bandes: Redaktionskollegium der Leibniz-Sozietät

Redaktionsschluss: 05.11.2022
ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-86464-229-6

Inhalt

Horst Kant, Gerhard Pfaff 9
Vorwort

Gerda Haßler 17
Eröffnung des Ehrenkolloquiums

Gerhard Banse 21
Laudatio für Prof. Dr. Armin Jähne (*1941)

Andreas Schwarcz 29
Der römische Donaulimes als UNESCO-Weltkulturerbe

Armin Jähne 69
Worte des Dankes und der Erinnerung

Tilo Heimbold 79
Laudatio für Prof. Dr. Werner Kriesel (*1941)

Dietmar Telschow, Tilo Heimbold, Dirk Lippik 85
Ein Meilenstein der Automatik/Informatik – Industrielle Kommunikation auf der Sensor-Aktuator-Ebene

Werner Kriesel 123
Worte des Dankes und der Erinnerung

Lutz-Günther Fleischer 129
Laudatio für Prof. Dr. Werner Ebeling (*1936)

Ulrike Feudel 141
Strukturbildung und Kipppunkte in Ökosystemen und Klima

Werner Ebeling 161
Worte des Dankes und der Erinnerung

Erdmute Sommerfeld 167
Laudatio für Prof. Dr. Heinz-Jürgen Rothe (*1946)

Anna-Marie Metz 175
Arbeitspsychologie im Spannungsfeld zwischen allgemeinpsychologischen Theorien, interdisziplinären Bezügen und praktischem Nutzen

Heinz-Jürgen Rothe 191
Worte des Dankes und der Erinnerung

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren 201

Die Vortragenden des Kolloquiums am 17.2.2022 und alle Geehrten; von links: Ulrike Feudel, Dietmar Telschow, Erdmute Sommerfeld, Werner Ebeling, Lutz-Günther Fleischer, Werner Kriesel, Armin Jähne, Andreas Schwarcz, Heinz-Jürgen Rothe, Gerhard Banse, Gerhard Pfaff, Horst Kant, Anna-Marie Metz, Gerda Haßler. Foto: Dietmar Linke.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 9–15*

Vorwort

Horst Kant, Gerhard Pfaff
(Berlin, MLS)

Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin veranstaltete am 17. Februar 2022 ein Kolloquium zu Ehren von vier verdienstvollen Mitgliedern. Bereits am 10. September 2020 hatte aus gleichem Anlass ein solches Kolloquium stattgefunden, zu dem vier Kollegen der Gelehrtengesellschaft geehrt worden waren. Die dabei gehaltenen Fachvorträge, Laudationes und Dankesworte wurden im Band 145 der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften publiziert. Anlass des Kolloquiums im Februar 2022 waren die 80. Geburtstage der Kollegen *Armin Jähne* und *Werner Kriesel, der* 85. Geburtstag des Kollegen *Werner Ebeling* und der 75. Geburtstag des Kollegen *Heinz-Jürgen Rothe* im Jahr 2021. Alle vier Kollegen sind langjährige Mitglieder der Leibniz-Sozietät, die im Laufe von vielen Jahren wichtige Funktionen in der Gelehrtengesellschaft ausgeübt haben und sich bis heute durch besonderes Engagement und hohe Aktivität auszeichnen. Im Vortragsraum des CEDIO-Konferenzzentrums in der Storkower Straße in Berlin begrüßte die Präsidentin der Leibniz-Sozietät *Gerda Haßler* 35 Mitglieder und Freunde der Sozietät sowie Familienangehörige der vier Jubilare. Die Einhaltung der durch die Corona-Pandemie notwendigen Hygienemaßnahmen machte es möglich, die Veranstaltung in Präsenz – wenn auch mit eingeschränkter Teilnehmerzahl – durchzuführen.

Blick in das – in Folge der Coronamaßnahmen reduzierte – Auditorium im CEDIO-Konferenzzentrum. Foto: Dietmar Linke.

Der vorliegende Band der Sitzungsberichte enthält alle Laudationes, ehrenden Fachvorträge und Dankesworte der während des Kolloquiums Geehrten. Die Beiträge waren zum Teil noch stärker mit Bildmaterial angereichert als dies im Druck möglich ist. Der Band steht unter der Überschrift „Triebkräfte der Entwicklung in Natur, Technik und Gesellschaft", denn alle Beiträge vermitteln aus Sicht der Herausgeber in anschaulicher Form fundierte wissenschaftliche Bezüge zu dieser Thematik und geben zugleich tiefe Einblicke in das Leben und die forscherische Tätigkeit von auf ihren Arbeitsgebieten weltweit anerkannten Wissenschaftlern.

In ihrer Eröffnung ging die Präsidentin der Leibniz-Sozietät *Gerda Haßler* auf die außergewöhnlichen Lebensleistungen der vier mit dem Kolloquium geehrten Mitglieder ein. Sie spannte dabei den Bogen von der akademischen Ehrung der vier Jubilare bis zu aktuellen Ereignissen innerhalb der Gesellschaft. In ihren Ausführungen verwies sie auf die hohe nationale und internationale Wertschätzung der Geehrten und auf deren Einbringen von unschätzbarem Wissen und vielfältigen Erfahrungen in die Leibniz-Sozietät. *Gerda Haßler* stellte zudem fest, dass es gerade in den letzten Jahren noch wichtiger geworden ist, den wissenschaftlichen Diskurs weiterzuführen und ihn auch in die Öffentlichkeit

zu tragen. In einer Zeit, in der sich Verschwörungsmythen, Wissenschaftsleugnung und Geschichtsfälschungen ausbreiten, ist es auch die Aufgabe der Leibniz-Sozietät, wissenschaftliche Erklärungen und Argumentationen für die Gesellschaft bereitzustellen.

Vor und nach der Eröffnung spielte der junge Solocellist *Lewin Krella* auf seinem Instrument eindrucksvoll jeweils zwei Sätze aus der Cellosuite Nr. 2 d-Moll von *Johann Sebastian Bach* (BWV 1008). – Die Veranstaltung wurde am Vormittag vom Sekretar der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften *Gerhard Pfaff* und am Nachmittag vom stellv. Sekretar dieser Klasse *Horst Kant* geleitet.

Im weiteren Verlauf der Veranstaltung folgte zunächst die Ehrung von *Armin Jähne*, der seinen 80. Geburtstag am 1. Februar 2021 begangen hatte. In seiner Laudatio würdigte Alt-Präsident *Gerhard Banse* den wissenschaftlichen Werdegang von *Armin Jähne*, der im Laufe seines Berufslebens auf den Gebieten Alte Geschichte, Geschichte Russlands, Osteuropäische und Südosteuropäische Geschichte, Archäologie, Ethnographie sowie Kunstgeschichte herausragende Leistungen vollbracht hat. Würdigung fand auch die Zuwendung des Jubilars zu Werk und Person *Heinrich Schliemanns* seit den 1990er Jahren. In der Laudatio wurde zudem betont, in welch vorbildlicher Weise sich *Armin Jähne* in der Leibniz-Sozietät engagierte und noch engagiert. So wurde sein wissenschaftsorganisatorisches Wirken hervorgehoben, nach seinem Eintritt im Jahr 2001 als Mitglied des Redaktionskollegiums, ab 2007 als stellvertretender Sekretar der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften und schließlich von 2012 bis 2019 als Vizepräsident der Leibniz-Sozietät. 2017 wurde *Armin Jähne* für seine engagierte Tätigkeit in der Gelehrtengesellschaft die Daniel-Ernst-Jablonski-Medaille verliehen.

Der *Armin Jähne* gewidmete Fachvortrag „Der römische Donaulimes als UNESCO-Weltkulturerbe“ wurde von *Andreas Schwarcz* (Wien) gehalten. Der Referent ging dabei ausführlich auf den Donaulimes ein, der ein wichtiger Teil des im 1. bis 6. Jahrhundert n. Chr. angelegten römischen Grenzsicherungssystems war. Der Donau-Abschnitt des Grenzwalls erstreckte sich über eine Gesamtlänge von 2888 km von Eining in Bayern bis zur Donaumündung am Schwarzen Meer. Über Jahrhunderte wurde der Donaulimes ausgebaut, umgestaltet und den Veränderungen in den angrenzenden Gebieten angepasst. Seine strategische Bedeutung bestand an der oberen und mittleren Donau im Schutz des Römischen Reiches gegen Bedrohungen aus dem Norden,

an der unteren Donau im Schutz Griechenlands und Kleinasiens, in der Spätantike dann speziell in der Sicherung Konstantinopels gegen Angriffe aus dem Barbaricum nördlich der Donau. Die Sicherung des Limes als UNESCO-Weltkulturerbe setzte mit der Anerkennung des Hadrianswalls in Großbritannien im Jahr 1987 ein. Seither erfolgte die Anerkennung des gesamten Limes als erstes potentielles serielles Weltkulturerbe in seiner vollständigen Länge von fast 6000 km, einschließlich des Donaulimes.

Die nun folgende Ehrung galt *Werner Kriesel*, der seinen 80. Geburtstag am 28. März 2021 begangen hatte. Die Laudatio wurde von *Tilo Heimbold* (Leipzig) ausgearbeitet und von *Gerhard Pfaff* vorgetragen. In der Laudatio wurde der wissenschaftliche Werdegang von *Werner Kriesel* mit den Schwerpunkten Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Automatisierung und industrielle Kommunikation herausgearbeitet. An all den Orten seines Wirkens – Berlin, Magdeburg, Leipzig, Merseburg – hinterließ er beachtenswerte wissenschaftliche Spuren in der Lehre, in der Forschung und in der Wissenschaftsorganisation. Beeindruckend sind seine Leistungen bei der Überführung von Automatisierungs- und Informationssystemen in die industrielle Praxis. Die Laudatio hob auch das Engagement von *Werner Kriesel* in der Leibniz-Sozietät hervor, in der er seit 2013 Mitglied ist. Besondere Würdigung fand auch die Leistung des Jubilars bei der Erstellung von Wikipedia-Artikeln, von denen inzwischen mehr als 200 von ihm geschrieben wurden und zugänglich sind. Somit, so wurde ausgeführt, hat *Werner Kriesel* unsere fachspezifische Erinnerungskultur auf eine neue Ebene gehoben und damit vieles dauerhaft vor dem historischen Vergessen bewahrt.

Der *Werner Kriesel* gewidmete Fachvortrag trug den Titel „Ein Meilenstein der Automatisierungstechnik – Industrielle Kommunikation auf der Sensor-Aktuator-Ebene“ und wurde von *Dietmar Telschow* (Leipzig) gehalten (Ko-Autoren: *Tilo Heimbold*, *Dirk Lippik*). Der Referent arbeitete heraus, wie am Lehrstuhl von *Werner Kriesel* in Leipzig seit 1985 Kommunikationssysteme für die Industrieautomation als eigenständige wirksame Strukturen verstanden und entwickelt wurden, die in der Folge vor allem als Mehrebenensystem Field Area Network FAN industrielle Nutzung fanden. Der Vortrag stellte die technischen Entwicklungsetappen von Automatik/Informatik ausgehend von den ersten Mikroprozessoren in den 1970er Jahren und damit realisierbarer speicherprogrammierbarer Steuerungen über lokale Netzwerke bis hin

zu einer eigenständigen Industriekommunikation in Mehrebenen-Strukturen für die Automation dar. Das Team von *Werner Kriesel* hat großen Anteil an diesen Entwicklungen. In Zusammenarbeit mit Industriepartnern gelang es, modernste Sensor-Aktuator-Systeme für den weltweiten Einsatz und die Breitenanwendung zur Verfügung zu stellen und damit Anwendungen für die Überwachung, Diagnose und Therapiesteuerung sowie die künstliche Intelligenz bereitzustellen.

Im weiteren Verlauf des Kolloquiums wurde *Werner Ebeling* geehrt, der am 19. September 2021 seinen 85. Geburtstag begangen hatte. In seiner Laudatio würdigte Vizepräsident *Lutz-Günther Fleischer* den wissenschaftlichen Werdegang von *Werner Ebeling*, der sich auf den Gebieten Theoretische Physik, Statistische Physik und Irreversible Thermodynamik national und international höchste Anerkennung erworben hat. Ab 1977 war der Jubilar mit der Akademie der Wissenschaften der DDR als Korrespondierendes und Ordentliches Mitglied verbunden. 1993 gehörte er zu den Gründungsmitgliedern der Leibniz-Sozietät, in der er sich seither in anerkennender Weise engagierte. Der Laudator verwies in seinen Ausführungen u. a. auf den Essay „Selbstorganisation und Entropie“ aus dem Jahr 1994, in dem *Werner Ebeling* eine fundierte Anregung für die Gestaltung von Wegen in die Zukunft gibt, wobei er eine ganzheitliche und entwicklungsfördernde Denk- und Vorgehensweise benutzt, die den engen Zusammenhang von Selbstorganisation und Evolution aufzeigt. Zusammenfassend stellte *Lutz-Günther Fleischer* fest, dass es an der Zeit ist, uns als bio-psycho-soziale Spezies in einem dynamischen, relationalen, sozialen, sozio-technischen sowie kulturellen Gefüge selbst noch besser zu erkennen, zu verstehen und sicher zu orientieren.

Der nun folgende Fachvortrag für *Werner Ebeling* mit dem Titel „Strukturbildung und Kipp-Punkte in Ökosystemen und Klima“ wurde von *Ulrike Feudel* (Oldenburg) gehalten. Die Referentin verwies in ihren Ausführungen darauf, dass viele natürliche Phänomene durch die nichtlineare Wechselwirkung unterschiedlicher physikalischer, chemischer und biologischer Größen hervorgerufen werden. Diese Nichtlinearitäten führen dazu, dass solche Systeme eine besonders komplexe, teilweise nicht vorhersagbare zeitliche Dynamik hervorbringen oder die Fähigkeit besitzen, spontan zeitliche, räumliche oder raum-zeitliche Strukturen auszubilden. Im Mittelpunkt der vorgestellten Untersuchungen stand die Dynamik eines Systems mit dessen zeitlicher bzw. raumzeitli-

cher Entwicklung, oft auch unter dem Einfluss äußerer Antriebskräfte wie z. B. des Klimawandels. Die Dynamik kann dabei bei fixierten Umweltbedingungen ganz unterschiedliche Formen annehmen: Das System kann in ein Gleichgewicht kommen, eine periodische oder quasiperiodische Bewegung ausführen oder auch durch eine chaotische Dynamik charakterisiert werden. Von besonderem Interesse sind plötzliche Änderungen der Dynamik, wenn entweder die internen Parameter des Systems oder der äußere Antrieb so verändert werden, dass kritische Schwellwerte überschritten werden (Kipp-Punkte bzw. Kipp-Übergänge von einem in einen anderen Zustand).

Der vierte an diesem Tage geehrte Kollege war *Heinz-Jürgen Rothe*, der am 24. November 2021 seinen 75. Geburtstag beging. In ihrer Laudatio lenkte *Erdmute Sommerfeld* die Aufmerksamkeit darauf, dass *Heinz-Jürgen Rothe*, der seit 2009 Mitglied der Leibniz-Sozietät ist, in seiner beruflichen Tätigkeit schon frühzeitig erkannt hat, dass die Arbeitspsychologie in ihrer wissenschaftlichen Fundierung auf einer Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung aufbauen muss. Dieser Grundgedanke spiegelt sich sowohl in der Forschungs- und Lehrtätigkeit des Geehrten wider als auch in seiner Zusammenarbeit mit Einrichtungen aus Industrie und Gesellschaft. Damit wurde *Heinz-Jürgen Rothe* zum Brückenbauer zwischen der Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung und der Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Große Verdienste erwarb er sich auch als wissenschaftlicher Koordinator von universitärer Forschung mit Anwendungen in Industrie und Gesellschaft. In der Laudatio wurde zudem auf die elfjährige Tätigkeit des Jubilars in der Leibniz-Sozietät als Sekretar des Plenums verwiesen (2010 bis 2021). Die Arbeiten im Rahmen dieser arbeitsaufwändigen ehrenamtlichen Funktion führte er mit Umsicht und großem Engagement erfolgreich durch. 2016 wurden seine Leistungen mit der Verleihung der Daniel-Ernst-Jablonski-Medaille gewürdigt. Mit seinem wissenschaftlichen und wissenschaftsorganisatorischen Wirken hat sich *Heinz-Jürgen Rothe* um den Wissenschaftsbetrieb und die innere Organisation der Leibniz-Sozietät große Verdienste erworben.

Den Fachvortrag für *Heinz-Jürgen Rothe* hielt *Anna-Marie Metz* (Potsdam). Der Titel ihres Vortrages lautete „Arbeitspsychologie im Spannungsfeld zwischen allgemeinpsychologischen Theorien, interdisziplinären Bezügen und praktischem Nutzen“. Die Referentin machte zunächst deutlich, warum Arbeitspsychologie im Kanon der Psychologie

gemeinhin als „angewandte“ Wissenschaft verstanden wird. Im weiteren Verlauf ihrer Ausführungen arbeitete sie die notwendige Verankerung der Arbeitspsychologie in allgemeinpsychologische Erkenntnisse sowie deren praktischen Nutzen heraus. An ausgewählten Beispielen aus dem breiten Forschungsfeld zum Zusammenhang zwischen (Erwerbs-)Arbeit und Gesundheit wurden die außerordentlichen Vorzüge trans- und interdisziplinärer Kooperation mit arbeitsmedizinischen, physiologischen und epidemiologischen Disziplinen dargestellt. Dabei wurde anschaulich demonstriert, wie aus einer derartigen Synopsis über das Streben nach Erkenntnisgewinn hinaus die Transformation in unmittelbar praktisch nutzbare Analyse- und Interventionstools gelingen kann.

Die Geehrten bedankten sich jeweils in herzlichen Worten für die ihnen erwiesene Ehrung und ergänzten das in den Laudationes und Fachvorträgen Dargelegte mit eigenen Erinnerungen aus dem beruflichen und privaten Leben. Dabei betonten alle, wie wichtig die Leibniz-Sozietät für ihr wissenschaftliches und gesellschaftliches Wirken war und ist.

Die Herausgeber hoffen, dass dieser weitere biographisch orientierte Band der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät mit den vorgelegten Beiträgen dem Leser Denkanstöße und Einsichten zur Thematik „Triebkräfte der Entwicklung in Natur, Technik und Gesellschaft“ vermittelt.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 17–20*

Eröffnung des Ehrenkolloquiums

Gerda Haßler
(Potsdam, MLS)

Meine sehr verehrten Damen und Herren, liebe Jubilare Werner Ebeling, Armin Jähne, Werner Kriesel und Heinz-Jürgen Rothe, hoch geschätzte Gäste, Referenten, Laudatoren, liebe Kolleginnen und Kollegen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin,

es ist mir eine Freude, Sie heute im Cedio-Konferenzraum trotz der noch immer anhaltenden Pandemie begrüßen zu können und ich danke allen Anwesenden für ihr Kommen, was ja unter den gegebenen Bedingungen nicht selbstverständlich ist. Danken möchte ich auch Lewin Krella, der uns zwei Sätze aus der Cellosuite Nr. 2 d-Moll von Johann Sebastian Bach (BWV 1008) gespielt hat, nach meinem Grußwort werden Sie ihn nochmals hören.

Die Geburtstage der Jubilare liegen teilweise schon lange zurück, der von Armin Jähne jährte sich sogar inzwischen erneut. Die Sorge um die Gesundheit unserer Mitglieder – und nicht zuletzt der Jubilare – führte letztlich zu diesem späten Datum.

In dieser Zeit ist ein Ehrenkolloquium nicht nur ein Anlass, den Jubilaren unseren Dank und unsere Wertschätzung auszudrücken, sondern auch eine Begegnung, die eben doch etwas anderes ist als ein Treffen in Zoom, das uns durch die Digitalisierung ermöglicht wurde.

Werner Ebeling wurde am 19. September 1936 geboren und er gehört zu den Gründungsmitgliedern der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin. Seine Leistungen auf dem Gebiet der theoretischen Physik sowie unter anderem in der statistischen Physik, der Quantensta-

tistik und Theorie nichtidealer Plasmen sowie der irreversiblen Thermodynamik werden weit über Deutschland hinaus geschätzt und seine Publikationsliste umfasst über 700 Einträge.

Armin Jähne wurde am 1. Februar 1941 geboren, er ist über 20 Jahre Mitglied unserer Sozietät, war von 2006 bis 2012 stellvertretender Sekretar der Klasse Sozial- und Geisteswissenschaften und wirkte danach bis 2019 als Vizepräsident, erhielt die Jablonski-Medaille und ist jetzt Vorsitzender der Schiedskommission. Kollege Jähne ist bekannt durch seine Forschungen zur griechischen Polis in hellenistischer Zeit, zu Problemen der altorientalischen wie antiken Geschichte sowie zu Heinrich Schliemann.

Werner Kriesel wurde am 28. März 1941 geboren, und er ist seit 2013 Mitglied der Leibniz-Sozietät. Ausgehend von seinen Arbeiten zu Automatisierungssystemen konnte er Forschungsergebnisse für ein neuartiges Kommunikationssystem zur Busverknüpfung von Steuerungen mit zugehörigen Sensoren und Aktuatoren verlegen, die in der Industrie Interesse fanden. Kollege Kriesel ist ein Pionier der industriellen Kommunikationstechnik. Zahlreiche seiner Schüler wurden Professoren, und er war auch in wissenschaftspolitischen Gremien aktiv.

Heinz-Jürgen Rothe wurde am 24 November 1946 geboren. Er ist seit 2009 Mitglied der Leibniz-Sozietät, wurde 2010 zum Sekretar des Plenums gewählt, und er ist seit 2021 unser Schatzmeister. Er wurde mit der Jablonski-Medaille ausgezeichnet. Ohne ihn kann ich mir die Arbeit des Präsidiums nicht vorstellen. Seine Forschungsschwerpunkte sind unter anderem wahrnehmungspsychologische Probleme bei Tätigkeiten in Mensch-Maschine-Systemen, Informationsdarbietung in Verkehrsleitzentralen, Wissensdiagnostik und Wissensmanagement, arbeitsbedingte psychische Störungen und betriebliches Gesundheitsmanagement.

So unterschiedlich die Lebensläufe und die Forschungsschwerpunkte der heute zu Ehrenden sein mögen, ist ihnen doch auch Vieles gemeinsam. Sie waren über Jahrzehnte, ihr ganzes Leben lang, ihrer Wissenschaft verbunden, haben kontinuierlich geforscht und dafür sicher auch auf so manches verzichten müssen. Davon wissen die Partnerinnen und Familienangehörigen der Jubilare sicher Einiges zu erzählen. Sie haben ihre Arbeitskraft auch in den Dienst der Wissenschaftsorganisation und der Wissenschaftspolitik gestellt, die bei aller Gegensätzlichkeit zu dem eigentlichen Anliegen des Wissenschaftlers auch wichtig

sind, um die Grundlagen der Arbeit zu sichern, Neues durchzusetzen und nicht zuletzt, um wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Die Entwicklung junger Wissenschaftler, die sie herangebildet und begleitet haben, war und ist unseren Jubilaren wichtig.

Auch das Bemühen um die Anwendbarkeit ihrer Forschungsergebnisse war ihnen stets bedeutsam. Sie handeln im Sinne des Grundsatzes „Theoria cum praxi", den Leibniz als eine Maxime seines eigenen Handelns gesehen hatte. Damit hat Leibniz aber auch ein Programm formuliert, das ihn als Vordenker der Aufklärung ausweist und das nicht als Argumentation gegen Grundlagenforschung verstanden werden darf. Die Wissenschaft („Theoria") ist ein eigener gesellschaftlicher Bereich, der natürlich mit der gesellschaftlichen Praxis zu verbinden ist, mit der Wirtschaft, der Politik und der Kultur, genau so wie unsere Jubilare es tun.

Gemeinsam ist unseren Jubilaren auch, dass sie Hindernisse zu überwinden hatten und dass sie Umbrüche erleben mussten. In unterschiedlichem Maße, aber immer wieder musste man das Wissenschaftlersein in der DDR verteidigen, musste das, was einem wichtig war, durchsetzen. Die Bewältigung der Umbrüche nach 1990 stellte noch höhere Ansprüche. Unsere Jubilare habe sie gemeistert, haben sich Anerkennung erworben und sind im nationalen und internationalen Rahmen hochgeschätzt. All das bringen sie in die Leibniz-Sozietät ein, wofür wir ihnen dankbar sind.

Es sollte nicht unterschätzt werden, was die Generation der heute über Achtzigjährigen der jungen Wissenschaftlergeneration mitgeben kann. Deshalb bemühen wir uns in der Leibniz-Sozietät um das Miteinander der Generationen, was uns noch nicht so ganz gelungen ist. Das Erinnern an die Erfahrungen der Gründergeneration kann auch für die junge Generation fruchtbar sein, ebenso wie die Beschäftigung mit Wissenschaftsgeschichte auch prospektive Wirkungen haben kann. Die Orientiertheit auf die Gegenwart, auf das zurzeit Angesagte, ist problematisch, denn Gegenwart ist nur der Augenblick des Umschlagens von Zukunft in Vergangenheit. Das Bewusstsein von Kontinuität und Identität kann aber erst durch eine Verschränkung von Erwartung und Erinnerung entstehen. Das Repertoire von Erfahrung, auf die man zurückgreifen kann, muss nicht rein individuell und subjektiv sein und man baut es auch nicht für sich allein auf. Wir sind eingebettet in kulturelle Umwelten, kollektive Rituale und nutzen das Wissen früherer Ge-

nerationen. Isaac Newton hatte 1675 in einem Brief über die Entdeckung der Farbtheorie geschrieben: "If I have seen further, it is by standing on the shoulders of Giants"[1]. Heute wird anstelle weniger großer Namen, die jedes Feld dominieren, das Wissen Schritt für Schritt fortgeschrieben durch die Mühen vieler einzelner Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen. Dennoch ist es in diesem Sinne gerechtfertigt, unsere heutigen Jubilare als solche Riesen zu betrachten, auf deren Schultern wir stehen.

Gerade in den letzten zwei Jahren ist es noch wichtiger geworden, den wissenschaftlichen Diskurs weiterzuführen und ihn auch in die Öffentlichkeit zu tragen. Wir leben in einer Zeit, in der Verschwörungserzählungen oder Verschwörungsmythen, Wissenschaftsleugnung und Verharmlosung von Diktaturen immer selbstbewusster auftreten. Wissenschaftsleugnung ist dabei eben nicht nur ein Symptom mentaler Überforderung, sondern sie wird auch gezielt entwickelt. Sowohl die Verunsicherung als auch die Unbekümmertheit der Menschen ausnutzend, bietet sie daher auch ein Potential für Radikalisierung. Diese Entwicklung ist längst in allen Bereichen angekommen, und sie klopfte auch schon an die Türen der Leibniz-Sozietät. Es ist unsere Aufgabe, wissenschaftliche Erklärungen zu liefern und Argumentationstechniken der Verschwörungserzählungen aufzudecken. Auch das ist unter dem Wirken der Wissenschaft für die Gesellschaft zu verstehen.

Wir werden heute Laudationes und Vorträge hören, die mit den wissenschaftlichen Interessen der Jubilare zusammenhängen, ja teilweise sogar durch diese angeregt wurden. Ich wünsche uns allen ein interessantes Kolloquium mit vielen neuen Erkenntnissen und interdisziplinären Einsichten und – vor allem den Jubilaren – viel Freude und Genugtuung über das auf der Basis ihrer Leistungen Entstandene.

[1] Newton, Isaac (1675). *Isaac Newton's letter to Robert Hooke*, 1675, Historical Society of Pennsylvania Simon Gratz autograph collection (#0250A), Box 12/11, Folder 37.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 21–27*

Laudatio für Professor Dr. Armin Jähne (*1941)

Gerhard Banse
(Berlin, MLS)

Unser Jubilar *Armin Jähne* wurde am 1. Februar 1941 in Wehrsdorf geboren, einem Ort, in dessen Lokalgeschichte sich Weltgeschichte bricht, wie 2012 festgestellt wurde (vgl. Jähne 2012). *Armin Jähne* spricht seinen Geburtsort mundartlich aber „Werrschdurf" aus – und damit ist klar: Dieser Ort liegt in der Oberlausitz. Dadurch wird bereits ein wesentliches Charakteristikum seiner Person verdeutlicht. Dazu zitiere ich unser bereits verstorbenes Mitglied, den Kulturwissenschaftler *Günter Mühlpfordt*:

> Trägt man auf einer Karte Europas die Geburtsorte der bedeutenderen Aufklärer ein, dann zeigt sich im Bereich der Oberlausitz eine auffallende Häufung. Nicht nur die leuchtenden Gestirne aus der Oberlausitz, wie Tschirnhaus und Weise, Lessing und Fichte, erglänzten am Firmament von Wissenschaft und Literatur, auch viele weitere Aufklärer waren hier geboren. […] Von sämtlichen Landschaften Mitteleuropas stellte, im Vergleich zur Bevölkerungszahl, die Oberlausitz mit die meisten Aufklärer von Rang. Unter den deutschen Stämmen konnten darin nur Obersachsen, Thüringer und Schwaben sich mit den Oberlausitzern messen.
>
> Doch ist zu unterscheiden zwischen Aufklärung in der Oberlausitz und Aufklärung aus der Oberlausitz. Auswärtiges Wirken und auswärtige Wirkung von Oberlausitzern waren umfassender und relevanter als die einheimische Aufklärung. Die Oberlausitzer Aufklärung besteht somit aus zwei ungleichwertigen Teilen:

> der intensiven Tätigkeit in der Heimat (Oberlausitzer Aufklärung im engeren Sinn) und der extensiven Ausstrahlung von Oberlausitzern über Deutschland, Europa und die Welt. Die Aufklärung in der Oberlausitz hat […] bemerkenswerte Leistungen vollbracht. (Mühlpfordt 1981, S. 4)

Armin Jähne gehört unbestreitbar zu den Vertretern der genannten „Aufklärung aus der Oberlausitz" mit einer „extensiven Ausstrahlung […] über Deutschland, Europa und die Welt". – Das war ihm aber weder in die Wiege gelegt noch vorherbestimmt. Der Weg dorthin war lang und schwierig, ist aber rasch genannt: von 1947 bis 1955 ging er in die Grundschule seines Heimatdorfes, ab 1955 lernte *Armin Jähne* dann an der Goethe-Internatsoberschule in Bischofswerda (Sachsen) und bestand dort 1959 die Abiturprüfungen. Unmittelbar daran schloss sich bis 1961 ein Wehrdienst in Dresden und Zittau an. War das alles noch „irgendwie" territorial mit seiner geliebten Oberlausitz verbunden, begann nun eine Zeit im fernen Moskau: Er wurde bereits 1961 an die Historische Fakultät der Lomonossow-Universität (MLU) delegiert und studierte dort Alte Geschichte, Geschichte Russlands, Osteuropäische und Südosteuropäische Geschichte, Archäologie, Ethnographie sowie Kunstgeschichte. Spezialisiert hatte er sich auf die Zeit des Hellenismus und, darin eingeschlossen, die Geschichte des Ptolemäer-Reiches. 1966 schloss er dieses Studium als Diplom-Historiker und Lehrer für Geschichte und Gesellschaftskunde mit dem Prädikat „Ausgezeichnet" ab. Das war eine Voraussetzung für seine sich unmittelbar anschließende Aspirantur im Fach Alte Geschichte an der MLU. Mit der Dissertation „Poleis im Staatsverband der Ptolemäer" erfolgte 1970 in Moskau die Promotion zum Dr. phil. Im Mai desselben Jahres begann *Armin Jähne* seine Lehr- und Forschungstätigkeit an der Humboldt-Universität, zunächst als Oberassistent, dann als Wissenschaftsbereichsleiter. Indes: Was an der Lomonossow-Universität in Moskau selbstverständlich war, war an der Humboldt-Universität (noch) nicht ganz so selbstverständlich. Don Quichottes Kampf gleich waren *Armin Jähnes* – letztendlich erfolglose – Bemühungen, einen eigenen Studiengang „Alte Geschichte" zu etablieren, allerdings waren die „Windmühlenflügel", gegen die er kämpfte – wie er selbst einmal sagte – „uneinsichtige Haltungen" und die „Inkompetenz" maßgebender Personen (vgl. Banse 2011).

Die nächsten Etappen des wissenschaftlichen Lebenslaufs sind ebenfalls rasch genannt: 1976/77 Zusatzstudium an der MLU, 1980 Erwerb des akademischen Grades Dr. sc. phil. mit einer Arbeit, die die Erhebung Alexandrias zur Metropole des Ptolemäerreiches und die Agrarzone dieser Stadt zum Gegenstand hatte, sowie Ernennung zum Dozenten im Fach Alte Geschichte, 1988 schließlich Ernennung zum außerordentlichen Professor – und dann: 1990 Beginn einer längeren „Abwicklung". Danach Gastlehraufenthalt in Wien, wissenschaftliche Expedition „Auf den Spuren Alexander des Großen" und drittmittelgestützte Forschungsarbeit in Berlin sowie Vorträge in Smoljan, Athen, Konstanz, Prag, München und andernorts.

Dass „nebenbei" auch Bulgarien eine häufige Station war und ist, ist nicht „rein privat", denn Svoboda, die er 1967 heiratete, ist Bulgarin, aber kennengelernt haben sie sich in Moskau, während des gemeinsamen Studiums. 1971 wurde die Tochter Bojana geboren.

Das Ausscheiden aus dem universitären Anstellungsverhältnis im Jahr 2006 war kein Wechsel in den Ruhe-, sondern eher in den Unruhestand. Es erfolgte eine verstärkte Zuwendung zu Werk und Person *Heinrich Schliemanns*, dem hellenistischen Balkan sowie der Geschichte Russlands und Südosteuropas. Die Erforschung und Propagierung des Lebenswerkes des Wiederentdeckers von Troja, des deutschen Archäologen *Heinrich Schliemann*, war ihm eine Herzensangelegenheit. Davon zeugen zahlreiche Publikationen und Vorträge. Ich erinnere in diesem Zusammenhang nur an seinen Vortrag auf der Jahrestagung 2021 zu den Beziehungen zwischen *Rudolf Virchow* und *Heinrich Schliemann*. – Ganz in diesem Sinne initiierte er 2016 auch eine Kampagne zur Rettung der von der Abwicklung bedrohten Schliemann-Forschungsstätte in Ankershagen im Mecklenburgischen.[1] Am 07. September 2018 wurde ihm folgerichtig auf Grund seiner Verdienste in der Schliemannforschung sowie in der Förderung des Heinrich-Schliemann-Museums und der Heinrich-Schliemann-Gesellschaft Ankershagen die Heinrich-Schliemann-Medaille der Heinrich-Schliemann-Gesellschaft verliehen. *Armin Jähne* hat darüber hinaus durch weitere Bücher und eine Vielzahl wissenschaftlicher Aufsätze in Fachzeitschriften sowie in Sammelbän-

[1] Vgl. „Memorandum zur Rettung des Heinrich-Schliemann-Museums in Ankershagen". In: *Leibniz intern. Mitteilungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.* 68 (2016), 42–43.

den im In- wie Ausland und mit Beiträgen in der Tagespresse auf sich aufmerksam gemacht, die seinen Ruf als Polyhistor untermauerten.

Bereits im Jahr 2001 war *Armin Jähne* zum Mitglied der Leibniz-Sozietät gewählt worden. Seither hat er sich sowohl durch seine aktive Teilnahme am wissenschaftlichen Leben unserer Gelehrtengesellschaft als auch durch sein Auftreten außerhalb dieser in der wissenschaftlichen Öffentlichkeit unseres Landes ausgezeichnet. Er prägte durch seine Teilnahme als Autor von Referaten und Diskussionsbeiträgen an einer Reihe von Veranstaltungen in der sozial- und geisteswissenschaftlichen Klasse wie im Plenum das wissenschaftliche Profil unserer Gelehrtengesellschaft in bester aufklärerischer Tradition. Besonders zu erwähnen sind seine Beiträge auf der Jahrestagung der Leibniz-Sozietät 2010 „Akademie und Universität in historischer und aktueller Sicht" (vgl. Jähne 2013), auf der wissenschaftlichen Konferenz zum 200. Todestag des deutschen Philosophen *Johann Gottlieb Fichte* 2014 (vgl. Jähne 2015), auf dem Ehrenkolloquium für *Hans-Otto Dill* „Philologie & Philosophie. Welt und Region in der Wissenschaft" 2015 (vgl. Jähne 2016) sowie auf dem Kolloquium in memoriam *Siegfried Wollgast* 2018 (vgl. Jähne 2019). Zu verweisen ist aber auch auf seine zahlreichen Vorträge, von denen hier stellvertretend nur genannt seien:

- Recht oder Gerechtigkeit. Das Dilemma des heimgekehrten Odysseus. 2007 (vgl. Jähne 2008),
- Der „kranke Mann am Bosporus". Gebremste Nationwerdung auf dem Balkan 2011. (vgl. Jähne 2011) und
- Wem gehört die „annektierte" Krim? Eine historische Betrachtung. 2018 (vgl. Jähne 2019b).

Als kompetenter Kenner Südosteuropas, d.h. der Geschichte des Balkans, trug *Armin Jähne* die inhaltliche Haupt- bzw. Mitverantwortung im Rahmen der im Jahr 2007 abgeschlossenen Kooperationsvereinbarung zwischen der Mazedonischen Akademie der Wissenschaften und Künste einerseits sowie der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften andererseits, insbesondere für drei gemeinsame Konferenzen:

- Oktober 2014, Berlin, „Der Balkan im 1. Weltkrieg. Großmachtinteressen und Regionalkonflikte. Der Streit um das ‚balkanische Erbe' der Osmanen (von Berlin 1878 bis Neuilly 1919/1920)" (vgl.

MANU 2015),[2]

- September 2015, Ohrid (Mazedonien), „Wissenschaft und Kunst II“ (vgl. MANU 2018)[3] und
- Juli 2018, Berlin, „West-/Mitteleuropa und der Balkan im geistig-kulturellen Dialog 1900 – 1939“.[4]

Last but not least seien die von ihm in der Leibniz-Sozietät bekleideten wissenschaftsorganisatorischen Funktionen genannt, anfangs als Mitglied des Redaktionskollegiums, dann ab 2007 stellvertretender Sekretar der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften und schließlich von 2012 bis 2019 Vizepräsident. Darüber schreibt er rückblickend: „2012 wurde […] ich – wider meinen Willen und mehr einem leichten äußeren Zwang nachgebend – zum Vizepräsidenten“ gewählt. (Jähne 2016b, S. 222)

Ich war als Präsident indes froh, ihn mit seiner ruhigen Art an meiner Seite zu haben, und: Wir haben gut zusammengewirkt. – Als Vizepräsident war er für die Nekrologe und anfangs auch für die alljährlichen Zuwahlen und Auszeichnungen zuständig. In dieser Funktion verfasste er u.a. 15 Nachrufe. Seit dem Ausscheiden aus dem Präsidium ist er Mitglied der Schiedskommission der Leibniz-Sozietät und deren Vorsitzender.

In Würdigung sowohl seiner Verdienste um die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin als auch seiner besonderen wissenschaftlichen Leistungen in seinen Fachgebieten „Alte Geschichte“ sowie „Geschichte Russlands und Südosteuropas“ wurde *Armin Jähne* 2017 mit der Daniel-Ernst-Jablonski-Medaille der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin ausgezeichnet.

Abschließend sei mir eine persönliche Bemerkung gestattet. *Armin Jähne* schrieb im Jahr 2016 über uns:

> Begegnung, Erkunden, Irritation, Zwang zu gemeinsamer wissenschaftsorganisatorischer Arbeit, Annäherung, wachsende

[2] Vgl. https://leibnizsozietaet.de/jahrestagung-der-leibniz-sozietaet-2014-durchgefuehrt-als-gemeinsame-konferenz-der-leibniz-sozietaet-der-wissenschaften-und-der-makedonischen-akademie-der-wisenschaften-und-kuenste-bericht/#more-8340

[3] Vgl. https://leibnizsozietaet.de/bericht-ueber-die-gemeinsame-wissenschaftliche-konferenz-in-ochrid-makedonien/#more-10151

[4] Vgl. https://leibnizsozietaet.de/bericht-ueber-die-gemeinsame-konferenz-von-leibniz-sozietaet-berlin-und-makedonischer-akademie-der-wissenschaften-und-kuenste-skopje-im-juli-2018/#more-15783

> Sympathien, freundschaftlicher Schulterschluss, so könnten die Etappen meines Verhältnisses zu *Gerhard Banse* grob umrissen werden. (Jähne 2016b, S. 219)

Seither sind sechs Jahre vergangen – und aus dem „freundschaftlichen Schulterschluss" ist zwischenzeitlich eine enge Freundschaft, sozusagen ein „freundschaftlicher Schulterschluss höherer Ordnung" geworden. Darüber bin ich glücklich, und dafür bin ich Dir, lieber Armin, sehr dankbar.

Ich wünsche Dir für die kommenden Jahre Muße, Kraft und insbesondere Gesundheit sowie nie versiegende geistige Frische – auch im Kreise Deiner Familie und Freunde. Arbeite weiter, so lange es geht und Du sowohl Spaß daran hast als auch Genugtuung dabei empfindest. Denn: Wissenschaftliche Arbeit ist Dein Leben.

Bibliographie

Banse, Gerhard (2011): „Odysseus und Don Quichotte – Armin Jähne zum 70. Geburtstag". *In Klios Reich. Russisch-deutscher Sammelband zu historischen Themen. Festschrift für Prof. Dr. phil. Dr. sc. Armin Jähne zum 70. Geburtstag*, hrsg. von Ilja Leonidowna Majak, Ljubow Viktorowna Ostapenko. Moskau/Berlin: Lomonossow-Universität/Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 43–44

Jähne, Armin (2008): „Recht oder Gerechtigkeit. Das Dilemma des heimgekehrten Odysseus". *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften* 95, 105–117

Jähne, Armin (2011): „Der ‚kranke Mann am Bosporus'. Gebremste Nationwerdung auf dem Balkan". *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften* 111, 159–183

Jähne, Armin (2012): „Wehrsdorf: Weltgeschichte bricht sich in der Lokalgeschichte eines Oberlausitzer Dorfes". *1812/1813. Russland im Krieg mit Napoleon. Von Borodino bis Bautzen*, hrsg. von Christine Titel. Berlin: DAMU, 17–29 (DAMU-Hefte Lomonossow)

Jähne, Armin (2013): „Alte Geschichte an der Humboldt-Universität. 1960 – 1990". *Akademie und Universität in historischer und aktueller Sicht: Arbeitsteilungen, Konkurrenten, Kooperationen*, hrsg. von Herbert Hörz, Hubert Laitko. Berlin: tra/o, 229–241 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 29)

Jähne, Armin (2015): „Johann Gottlieb Fichte (1762 – 1814), der Eiserne. Region und Philosophie". *Denken und Handeln. Philosophie und*

Wissenschaft im Werk Johann Gottlieb Fichtes, hrsg. von Hans-Otto Dill. Frankfurt am Main et al.: Peter Lang, 19–35

Jähne, Armin (2016a): „Schwierigkeiten der Interpretation. Gehört Russland zu Europa?" *Philologie & Philosophie. Welt und Religion in der Wissenschaft*, hrsg. von Armin Jähne. Berlin: tra/o, 27–52 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 44)

Jähne, Armin (2016b): „Wie soll ich es benennen...". *Zeiten & Spuren. Wege. Begegnungen. Rückblicke. Gerhard Banse zum 70. Geburtstag*, hrsg. von Bärbel Banse, Armin Jähne. Berlin: tra/o, 219–223 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 43)

Jähne, Armin (2019): „Der ‚Oberlausitzer' Siegfried Wollgast und die deutsche Frühaufklärung und Aufklärung". *Disziplinäres & Interdisziplinäres – Historisches und Systematisches*, hrsg. von Gerhard Banse, Horst Kant. Berlin tra/o, 117–126 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 139/140)

Jähne, Armin (2019b): „Zu wem gehört die „annektierte" Krim? Eine historische Analyse". *Beiträge zur Geschichte der Arbeiterbewegung* 61/1, 109–131

MANU (2015): Mazedonische Akademie der Wissenschaften und Künste; Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (Hrsg.): *Der 1. Weltkrieg auf dem Balkan. Großmachtinteressen und Regionalkonflikte (Von Berlin 1878 bis Neuilly 1919/1920)*. Skopje: Mazedonische Akademie der Wissenschaften (Auseinandersetzungen, Bd. 3)

MANU (2018): Mazedonische Akademie der Wissenschaften und Künste; Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (Hg.): *Wissenschaft und Kunst 2*. Skopje: Mazedonische Akademie der Wissenschaften (Auseinandersetzungen, Bd. 4)

Mühlpfordt, Günter (1981): „Oberlausitzer Aufklärer als Wegbereiter und Vorkämpfer der bürgerlichen Umgestaltung. Zur Weltwirkung einer Kleinlandschaft im Prozeß der ‚Verbürgerung'". *Die Oberlausitz in der Epoche der bürgerlichen Emanzipation*, hrsg. vom Rat der Stadt Görlitz. Protokollband Kolloquium der Winckelmann-Gesellschaft, Görlitz 1977, 1. bis 3. September. Veröffentlicht im Auftrage des Winckelmann-Gesellschaft und der Städtischen Kunstsammlungen Görlitz unter Leitung von Johannes Irmscher, Ernst-Heinz Lemper, Günter Mühlpfordt. Görlitz: Rat der Stadt, 3–32 (Schriftenreihe des Ratsarchivs der Stadt Görlitz, Nr. 10)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin
153 (2022), 29–68

Der Donaulimes als UNESCO-Weltkulturerbe

Andreas Schwarcz
(Wien)

Abstract
The Danube Limes was traditionally one of the most important sections of the Roman border system. It extended over a total length of 2888 km from Eining in Bavaria to the mouth of the Danube at the Black Sea. Its strategic importance lay on the upper and middle Danube in the protection of Italy against threats from the north, on the lower Danube in the protection of Greece and Asia Minor, and in late antiquity specifically in the protection of Constantinople against attacks from the Barbaricum north of the Danube. The foundations of this belt of fortifications on one of the major European rivers were laid in the early days of the Principate under the rule of Augustus. Over the centuries it was expanded and reshaped, held on the upper Danube until the time of Odoacer's reign, on the lower Danube with a final fortification phase in the time of Emperor Justinian I and until the arrival of the Slavs. The securing of the Limes as a UNESCO World Heritage Site began with the recognition of Hadrian's Wall in Great Britain in 1987. This was followed in 2005 by the Upper Germanic-Rhaetian Limes and the recognition of the entire Limes as the first potential serial World Heritage Site in its entire length of nearly 6000 km in 20 countries. At that time, the first preparatory work also began for the submission of the Danube Limes as part of an international project that successfully submitted the Antonine Wall in Scotland in 2008. Since then, preparations have been underway in Austria, Bulgaria, Croatia, Germany, Hungary, Romania, Serbia and Slovakia. In 2020, the decision was made to first submit the Upper Danube Limes in Bavaria, Austria and Slovakia ("western Segment"), which was recognized as a UNESCO WHS on July 30, 2021. While the submission continues to be prepared in the other Danube states as well, Germany and the Netherlands are also

preparing the recognition of the Limes on the Upper Rhine.

Resümee

Der Donaulimes war traditionell einer der wichtigsten Abschnitte des römischen Grenzsystems. Er erstreckte sich über eine Gesamtlänge von 2888 km von Eining in Bayern bis zur Donaumündung am Schwarzen Meer. Seine strategische Bedeutung lag an der oberen und mittleren Donau im Schutz Italiens gegen Bedrohungen aus dem Norden, an der unteren Donau im Schutz Griechenlands und Kleinasiens, in der Spätantike dann speziell in der Sicherung Konstantinopels gegen Angriffe aus dem Barbaricum nördlich der Donau. Die Grundlagen dieses Befestigungsgürtels an einem der großen europäischen Hauptflüsse wurden bereits in den Anfängen des Prinzipats unter der Herrschaft des Augustus gelegt. Über die Jahrhunderte wurde er ausgebaut und umgestaltet, an der oberen Donau gehalten bis zur Zeit der Herrschaft Odoakers, an der unteren Donau mit einer letzten Befestigungsphase in der Zeit Kaiser Justinians I. und bis zur Ankunft der Slaven. Die Sicherung des Limes als UNESCO-Weltkulturerbe setzte mit der Anerkennung des Hadrianswalls in Großbritannien im Jahr 1987 ein. Im Jahr 2005 folgten der Obergermanisch-rätische Limes und die Anerkennung des gesamten Limes als erstes potentielles serielles Weltkulturerbe in seiner gesamten Länge von fast 6000 km in 20 Ländern. Damals begannen auch die ersten Vorarbeiten für die Einreichung des Donaulimes im Rahmen eines internationalen Projekts, mit dem 2008 der Antoninuswall in Schottland erfolgreich eingereicht wurde. Seither laufen die Vorbereitungen in Bulgarien, Deutschland, Kroatien, Österreich, Rumänien, Serbien, der Slowakei und Ungarn. 2020 fiel die Entscheidung, zunächst den oberen Donaulimes in Bayern, Österreich und der Slowakei („western Segment“) einzureichen, der am 30. Juli 2021 als UNESCO-WHS anerkannt wurde. Während auch in den anderen Donaustaaten die Einreichung weiter vorbereitet wird, bereiten Deutschland und die Niederlande auch die Anerkennung des Limes am Oberrhein vor.

Keywords/Schlüsselwörter

Danube Limes, Roman border system, Antonine Wall, Hadrian's Wall, UNESCO World Heritage

Donaulimes, römisches Grenzsystem, Antoninuswall, Hadrianswall, UNESCO-Weltkulturerbe

Die Grenzen des Römischen Reiches bilden eines der wichtigsten und größten zusammenhängenden Monumente eines antiken Großreiches. Sie erstrecken sich über mehr als 7500 km in 20 Ländern rund um das Mittelmeer. Die Sicherung des Limes als UNESCO-Weltkulturerbe setzte mit der Anerkennung des Hadrianswalls in Großbritannien als

solches im Jahr 1987 ein. In der Folge wurde im Rahmen der internationalen Limeskongresse, die alle drei Jahre stattfinden, die Idee diskutiert, den ganzen Limes unter diesen Schutz zu stellen. Zur Koordinierung der Limesforschung in Deutschland wurde dann 2003 in Esslingen die Deutsche Limeskommission gegründet, deren Sitz das Römerkastell Saalburg bei Bad Homburg ist. Im Jahr 2005 folgte der Obergermanisch-rätische Limes und die Anerkennung des gesamten Limes als erstes potentielles serielles Weltkulturerbe „Frontiers of the Roman Empire" in seiner gesamten Länge. Dabei wurde der Verlauf des Limes zum Zeitpunkt der größten Ausdehnung des Imperiums ca. 150 n. Chr. unter der Herrschaft des Kaisers Antoninus Pius als Grundlage genommen (Karte 1).

Karte 1: Multinationales UNESCO Weltkulturerbe „Frontiers of the Roman Empire" (Copyright Frontiers of the Roman Empire Culture 2000 Projekt, 2005-2008).

Etwas davor begannen auch in Absprache zwischen Österreich und Bayern die Vorarbeiten für die Einreichung des Donaulimes und meine eigene wissenschaftliche Beschäftigung damit. Ein Vertrag zwischen der Republik Österreich und den Bundesländern Oberösterreich, Niederösterreich und Wien sicherte 2004 die notwendige Kofinanzierung für die Beteiligung meines Instituts, des Instituts für Österreichische Geschichtsforschung, an einem internationalen Projekt im Rahmen von Culture 2000, an dem auch die Deutsche Limeskommission ein Partner war. Das Projekt stand unter der Federführung von Historic Scotland und *David J. Breeze*, dem langjährigen Präsidenten der Internationalen Limeskongresse. Als Ergebnis wurde 2008 der Antoninuswall in Schottland erfolgreich eingereicht, aber auch in den Donauländern wurden die wissenschaftlichen Vorarbeiten für eine Einreichung gestartet. Seither laufen diese Arbeiten in Bulgarien, Deutschland, Kroatien, Österreich, Rumänien, Serbien, der Slowakei und Ungarn. 2011 konnte eine Arbeitsgruppe, an der ich auch beteiligt war, erfolgreich die erste sogenannte „Tentative List" für den österreichischen Donaulimes bei der UNESCO einreichen. Mehrere internationale Projekte, an denen ich bis zu meiner Pensionierung mitarbeiten durfte, halfen bei der Vorbereitung der nationalen Einreichunterlagen, wobei der offizielle Teil der Fertigstellung dann bei den nationalen Denkmalschutzbehörden lag und liegt. Im Rahmen dieser Bemühungen fanden auch die Internationalen Limeskonferenzen 2009 in Newcastle upon Tyne (UK), 2012 in Ruse (Bulgarien), 2015 in Ingolstadt (Deutschland) und 2018 in Belgrad und Viminacium-Kostolac (Serbien) statt. 2020 fiel die Entscheidung, zunächst den oberen Donaulimes in Bayern, Österreich und der Slowakei („western Segment") einzureichen, der am 30. Juli 2021 als UNESCO-WHS anerkannt wurde. Gleichzeitig wurde auch auf Antrag Deutschlands und der Niederlande der Limes am Niederrhein als „Lower German Limes" in das Welterbe eingeschrieben. *Sebastian Sommer*, der als Leiter der Römischen Abteilung beim Bayerischen Denkmalamt und Präsident der Deutschen Limeskommission von Anfang an an beiden erfolgreichen Einreichungen beteiligt war, ist leider kürzlich verstorben. In den anderen Donaustaaten wird die Einreichung des unteren Donaulimes weiter vorbereitet.

1 Die Anfänge

Der Donaulimes war traditionell einer der wichtigsten Abschnitte des römischen Grenzsystems. Er erstreckte sich über eine Gesamtlänge von 2888 km von Eining in Bayern bis zur Donaumündung am Schwarzen Meer (Karte 2).

Karte 2: Der Donaulimes (Copyright Danube Limes – UNESCO World Heritage Project / Institut für Österreichische Geschichtsforschung).

Seine strategische Bedeutung lag an der oberen und mittleren Donau im Schutz Italiens gegen Bedrohungen aus dem Norden, an der unteren Donau im Schutz Griechenlands und Kleinasiens, in der Spätantike dann speziell in Sicherung Konstantinopels gegen Angriffe aus dem Barbaricum nördlich der Donau. Die Grundlagen dieses Befestigungsgürtels an einem der großen europäischen Hauptflüsse wurden bereits in den Anfängen des Prinzipats unter der Herrschaft des *Augustus* gelegt. Über die Jahrhunderte wurde er ausgebaut und umgestaltet, an der oberen Donau gehalten bis zur Zeit der Herrschaft Odoakers, an der mittleren Donau bereits mit einer entscheidenden Zäsur mit der Ankunft der Hunnen in diesem Raum am Beginn des 5.Jahrhunderts, an der unteren Donau mit einer letzten Befestigungsphase in der Zeit Kaiser Justinians I. und bis zur Ankunft der Slaven. Für das UNESCO -

Welterbe von Bedeutung ist der Limes zum Zeitpunkt der größten Ausdehnung der Grenzen des Imperiums um ca. 150 n.Chr. unter der Herrschaft von *Antoninus Pius*. Daher konzentriere ich mich eher auf den Ausbau der Grenze als auf ihren Untergang (siehe dazu auch Schwarcz 2016). Abbildung 1 zeigt die Staue des Augustus in Aosta.

Abb. 1: Statue des Augustus in Aosta, Italien (Copyright Schwarcz).

Den Anfang setzte *Octavians* (63 v. Chr.–14 n. Chr.) Feldzug in Illyricum der Jahres 35–33 v. Chr., der aber entgegen älteren Annahmen noch keine großartigen Ziele verfolgte, sondern schlicht und einfach ihm die Gelegenheit bot, seine Truppen zusammen zu halten, und ihnen die Möglichkeit zu weiterer militärischer Übung und Erfahrung zu geben. Außerdem sollte er ihm Kriegsruhm verschaffen und strategisch möglicherweise auch die Route nach Makedonien sichern. Von einer großen Strategie des Erreichens der Donaugrenze oder gar der Anlage eines Donaulimes, wie manchmal behauptet wird, kann damals jedenfalls nicht die Rede sein, aber in seinem Tatenbericht betonte er später, dass er die Grenze Illyricums an die Donau verlegt habe (vgl. Southern 2005: 121; Kienast 1992: 289 mit n. 122 zur Forschungsdebatte). Als Höhepunkte dieser Feldzüge sind die Eroberung und Zerstörung von Segeste-Sisak am Zusammenfluss von Kolpa und Save 35 n. Chr. zu

nennen und die Eroberung der dalmatinischen Festungen Promonium und Synodium im Jahr darauf. Der Krieg endete im Frühling des Jahres seines zweiten Konsulats 33 v. Chr. mit der Deditio, der formellen Kapitulation, der Dalmater und anderer Stämme (vgl. Southern 2005: 121). In Sisak standen dann in augustäischer Zeit 23 Kohorten, die später von einer Legion abgelöst wurden (vgl. Breeze 2011: 100). Die Feier des ihm dafür bewilligten Triumphs schob *Octavian* aber bis 29 v. Chr. auf, als er im August drei Triumphe hintereinander für seine Siege in Dalmatien, bei Actium und über *Kleopatra* feierte (vgl. Southern 2005: 143).

An der unteren Donau und in Thrakien sind hingegen die ersten militärischen Operationen der Römer in die erste Hälfte des 1. Jahrhunderts v. Chr. zu datieren. *C. Scribonius Curio* (ca. 124–53 v. Chr.) stieß während seiner Kämpfe mit den Dardanern als Proconsul von Makedonien im Jahr 73 v. Chr. bis an die Donau vor und erhielt für seine Erfolge einen Triumph (vgl. Livius, Periochae: 92 und 95: 94–96; Gundel 1964: 1343; Mirković 2007: 18). Sein Nachfolger als Proconsul, *Marcus Terentius Varro Lucullus* (116–kurz nach 56 v. Chr.), besiegte 70/71 v. Chr. im Krieg gegen *Mithridates VI. Eupator* (135–63 v. Chr.) die Odrysen und unterwarf mehrere griechische Städte an der Westküste des Schwarzen Meeres, unter ihnen Apollonia Pontica-Sosopol (Bulgarien), Kallatis-Mangalia (Rumänien), Tomis-Constanţa (Rumänien) und Istros-Istria (Rumänien) (vgl. Eutropius, Breviarium ab urbe condita: 6, 10 (MGH AA 2: 98); Livius, Periochae: 97: 97; Festus, Breviarium: 9: 52–53); Dyczek 2008: 45; Boteva 2012: 12).

Es war aber dann ein anderer Proconsul von Makedonien, *M. Licinius Crassus* (ca. 60 v. Chr. cos. 30 v. Chr.), der Enkel des Triumvirs, der in den Jahren 30 bis 28 v. Chr. Siege über die Bastarnen, Geten, Odrysen und Bessen feierte und die mysischen Stämme unterwarf (vgl. Danov 1979: 123–126; Mirković 1996: 28). Sein Triumph in Rom im Jahr 27 v. Chr. brachte ihn in Konflikt mit *Octavian*. Dieser war Anfang des Jahres mit dem Namen *Augustus* geehrt worden. Er übernahm nicht nur das Konsulat für die nächsten vier Jahre durchgehend, sondern auch die Verwaltung von einem ganzen Bündel wichtiger Provinzen wie Ägypten, Gallien, Spanien und Syrien auf 10 Jahre, womit er auch mit dem imperium proconsulare (Herrschaft über die Provinzen und Militärkommando) ausgestattet war. Mit dieser umfassenden auctoritas legte er die Grundlagen zum Prinzipat (vgl. Kienast 1992: 71–84). Die Verweigerung der spolia opima (erbeutete Feldherrnrüstung des Gegners) für

den siegreichen Feldherrn durch *Augustus* und seine Durchsetzung der obersten Autorität hat in der Geschichtsschreibung durchaus mehr Widerhall gefunden als die Bedeutung des *Crassus* für die Donaugrenze. Tatsächlich aber rebellierten dann noch die Bessi zwischen 16 und 11 v. Chr. und es erforderte lange und blutige Kämpfe, bis *L. Calpurnius Piso* (48 v. Chr.–32 n. Chr.) den Aufstand beendete. Er überließ Thrakien den Verbündeten Roms, den Odrysen unter ihrem König *Rhoemetalces I.* (König 12 v. Chr.–12 n. Chr.), aber er richtete von Belene bis zum Schwarzen Meer die ripa Thraciae nördlich des Haemusgebirges (Stara Planina) ein (vgl. Tacitus, Annales: 2, 64: 76. 6, 10: 178–179; Cassius Dio, Historia Romana: 54: 6–7 (CD vol. 6, 370–371); Dyczek 2008: 47; Danov 1979: 129–138).

Im Jahr 6 n. Chr. existierte bereits eine römische Militärverwaltung in Moesien unter dem Legaten *Aulus Caecina Severus* (geb. um 45 v. Chr. – nach 20 n. Chr.). Aber die Provinz Moesia wurde wahrscheinlich erst im Jahr 15 n. Chr., dann nach Kämpfen gegen die Getae, die von *L. Pomponius Flaccus* (um 16 v. Chr.–33 n. Chr.) gemeinsam mit den Bessi geführt wurden, gegründet (vgl. Cassius Dio, Historia Romana: 55, 29, 3–30, 5 (CD 6: 468–473) zu Aulus Caecina Severus; Tacitus, Annales: 6, 27: 187); Eck 1997b: 124; Eck 2001: 124; Ivanov 2012: 23; Mirković 2007: 217). Die ripa Thraciae dürfte schließlich nach der Ermordung des thrakischen Königs *Roemetalces III.* (König 38 n. Chr.–44 n. Chr.) im Jahr 44 n. Chr. vom thrakischen Königreich abgetrennt worden sein und an die Moesia angeschlossen, als dieses zur römischen Provinz Thracia wurde (vgl. Danov 1979: 145).

Eine notwendige Vorbedingung für die Ausdehnung über die Alpen erfolgt 25 v. Chr., als *Augustus* das Gebiet der Salasser eroberte und die Colonia Augusta Praetoria (Aosta) gründete. Das gab ihm die Kontrolle über den Großen St. Bernard-Pass und die vallis Poenina (das Wallis) (vgl. Kienast 1992: 294). Der nächste tatsächlich entscheidende Schritt zur Formierung der Donaugrenze wurde an der oberen Donau mit der Eroberung von Rätien und der Annexion von Noricum im Jahr 15 v. Chr. gesetzt, nachdem bereits im Jahr davor der Proconsul von Illyricum *P. Silius Nerva* (geb.um 62 v. Chr., Konsul 20 v. Chr.) die Stämme zwischen dem Gardasee und dem Comosee unterworfen hatte. Die Stiefsöhne des *Augustus*, *Tiberius* (42 v. Chr.–37 n. Chr.) und *Drusus* (38 v. Chr.–9 v. Chr.), eroberten die Zentralalpen und das nördliche Alpenvorland (vgl. Dietz 1995a: 22–28). Dabei erreichte *Tiberius* als erster

Römer die Donauquellen, deren Lage bis dahin in den Alpen vermutet worden war (vgl. Dietz 1995a: 32–33). Damit war das ganze Alpengebiet unter römischer Kontrolle. Eine Reihe von Funden in Augsburg-Oberhausen, die durch Hochwasser angeschwemmt wurden, deuten dort auf ein sonst unbekanntes temporäres Legionslager für ein bis zwei Legionen zwischen 8 und 16 n. Chr. Danach wurde ein permanentes Legionslager in Vindonissa-Winden angelegt. Das zweite Lager für Vexillationen mehrerer tausend Soldaten kann in Dangstetten zwischen dem Bodensee und der Rheinbiegung am Oberrhein lokalisiert werden (vgl. Sommer 2015a: 15). Parallel dazu wurde das bisherige regnum Noricum annektiert, aber erst unter *Claudius* (10 v. Chr.–54 n. Chr.) zur Provinz (vgl. Kienast 1992: 295–297; Gassner/Jilek/Ladstätter 2002: 58 und 82; Ployer 2018: 13).

Während *Drusus* aufbauend auf diese Vorarbeiten das freie Germanien bis zur Elbe erobern sollte, erfolgte in den nächsten Jahren parallel dazu die Eroberung des illyrischen Raums an der mittleren und unteren Donau. Als Reaktion auf einen Angriff der Skordisker erfolgte von Mazedonien aus zunächst 14/13 n. Chr. ein Angriff in den Raum von Sirmium-Srmska Mitrovica, möglicherweise unter dem Kommando des *Tiberius*, während eine zweite Armee unter *M. Vipsanius Agrippa* (63 v. Chr.–12 v. Chr.) und *M. Vinicius* (um 65 v. Chr.–nach 4 n. Chr.) gegen die Völker zwischen Drau und Save gerichtet war. Nach dem Tod des *Agrippa* übernahm schließlich *Tiberius* die Führung des Krieges von 12 bis 9 v. Chr. und unterwarf die pannonischen Völker bis an die mittlere Donau. Das Gebiet von der Drau bis zum Donauknie sollte aber erst ein Jahr später von *Sex. Appuleius* (um 70 v. Chr., Konsul 29 v. Chr.) unterworfen werden (vgl. Kienast 1992: 301; Gassner/Jilek/Ladstätter 2002: 59). *Gnaeus Cornelius Lentulus*, Konsul 14 v. Chr., war – wahrscheinlich von 10–6 v. Chr. – Legat in den Kämpfen an der Donau und konnte gegen Sarmaten, Geten und Daker Erfolge erzielen, für die er mit den Triumphinsignien ausgezeichnet wurde. Er soll dabei auch praesidia (Wachtposten) jenseits der Donau errichtet haben (vgl. Tacitus, Annales: 4, 44: 150; Florus, Epitome II: 28: 334–335; Mirković 2007: 20; Mirković 1977: 816; Eck 1997a: 194).

Dass die römische Kontrolle noch nicht gefestigt war, zeigte der pannonische Aufstand der Jahre 6–9 n. Chr., aber auch, dass die römische Militärpräsenz bereits an den Standorten Carnuntum bei Petronell, Singidunum-Belgrad, Sirmium-Srmska Mitrovica und Siscia-Sisak gege-

ben war. Anlass waren die hohen römischen Tributforderungen, die die Angriffsvorbereitung auf das Reich des *Marbod* (um 30 v. Chr.–37 n. Chr.) nördlich der Donau begleiteten. Gerade als *Tiberius* von Carnuntum-Petronell aus den Vormarsch nach Norden gestartet hatte, rebellierten die Daesidiaten und die bei ihnen in der Gegend von Sarajevo versammelten illyrischen Hilfstruppen. Der Aufstand erfasste rasch ganz Illyricum und erzwang den Abbruch des Feldzugs gegen die Markomannen und *Marbod*. Der Konflikt dauerte vier Jahre und es bedurfte schließlich 10 Legionen, 10 000 Veteranen und über 80 Auxiliarregimenter, um ihn zu beenden (vgl. Kienast 1992: 304; Gassner/Jilek/Ladstätter 2002: 59; Humer 2011: 8; Kandler 1997: 258–272; Gassner/Pülz 2015: 278–290). Aber noch 12 nach Chr. sollen die Geten einen Einfall in Moesien unternommen haben und die Städte Troesmis bei Igliţa, Rumänien, und Aegissus-Tuldža, Rumänien, eingenommen haben (vgl. Kienast 1992: 308).

Auf die spätaugustäisch-tiberische Zeit geht jedenfalls auch die erste nachgewiesene Militärpräsenz an der Donau in Österreich zurück. 2014 haben großflächige geophysikalische Untersuchungen in Carnuntum unter einem antiken Vicus direkt an der Donau die Spuren eines Zeltlagers in der Größe von 6 Fußballfeldern entdeckt (http://noe.orf.at/news/stories/2653290/ abgerufen 29.3.2022). Von besonderer Bedeutung scheinen zunächst die Sicherung der Kreuzung der Ost-West-Verbindung entlang der Donau mit der Bernsteinstraße und diese selbst gewesen zu sein. Darauf deuten auch die vom ÖAI in Verbindung mit der Slowakischen Akademie der Wissenschaften 2007–2010 durchgeführten geophyikalischen Untersuchungen von Strebersdorf-Frankenau im Burgenland, die vier Holz-Erde-Militärlager und ein Vicus nachgewiesen haben, von denen das älteste Lager nach ersten Grabungsergebnissen in die spätaugustäisch-tiberianische Zeit datiert werden kann (https://www.oeaw.ac.at/oeai/forschung/historische-archaeologie/einzelforschungen/bernsteinstrasse-transitroute-und-militaerpraesenz abgerufen 29.3.2022). Dazu kommt ein viereckiger Holzturm mit Steinfundament auf dem Burgberg von Devin, der bereits in augustäisch-tiberischer Zeit als Beobachtungspunkt jenseits der Donau angelegt wurde (vgl. Breeze 2011: 100; Gassner/Pülz 2015: 292–295). Anzeichen militärischer Präsenz aus der augustäischen Zeit gibt es auch an der mittleren Donau an verschiedenen Stellen, unter anderem in Mursa-Osijek, Sirmium-Srmska Mitrovica in Pannonien

und in Oescus-Gigen in der Moesia (vgl. Breeze 2011: 100; Petrović/Vasić 1996: 18). Ratiaria-Arčar existierte ebenfalls bereits am Beginn des 1. Jh. n. Chr. und geht möglicherweise bis auf die Kampagne des *M. Licinius Crassus* zurück. Dort waren dann die legio IV Flavia, die legio VII Claudia und vielleicht auch eine Ala Gallica stationiert und erst in der Spätantike eine Flotteneinheit mit der classis Ratiarensis (vgl. Notitia dignitatum Orientis: 42, 43 (ND:. 38); Dyczek 2008: 54).

Von dieser Zeit an ist jedenfalls mit einer starken römischen Militärpräsenz von Rätien bis an die untere Donau zu rechnen, wobei allerdings wegen der wahrscheinlich insgesamt friedlichen Eingliederung Noricums bislang dort keine frühen Befestigungen an der Donau nachweisbar sind. Eine späte Quelle aus dem vierten Jahrhundert, das Breviarium des Festus, berichtet, dass *Augustus* einen Limes von Augusta Vindelicorum-Augsburg durch Noricum, Pannonien und Moesien errichtet habe (vgl. Festus, Breviarium, 8: 51–52); Mirković, 2007: 21). Wenn auch die Ausbildung einer durchgehenden Befestigungslinie erst das Werk späterer Generationen war, ist die Sicherung des gesamten Raums jedenfalls in der augustäischen Zeit begonnen worden.

Mit einer ersten Anlage von Holz-Erde-Kastellen auch an der oberen Donau ist in der Regierungszeit des *Tiberius* (14–37 n. Chr.) zu rechnen. Als erste Kastelle an der Donau in Rätien sind Aislingen und neuerdings auch Burghöfe anzusehen. Dazu kommen noch die Kleinkastelle von Nersingen und Burlafingen, verbunden mit den Anfängen einer Politik der Stationierung von Truppen direkt an der Grenze. (vgl. Dietz 1995a: 67; Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 25). *Karlheinz Dietz* nimmt auch an, dass die Provincia Raetia et Vindeliciae et vallis Poenina unter Tiberius formell eingerichtet wurde (vgl. Dietz 1995a: 71).

Jenö Fitz hat in seiner Studie über die Eroberung Pannoniens angenommen, dass Illyricum mit dem Ende des pannonischen Aufstands 9 n. Chr. geteilt wurde. Dem nördlichen *Illyricum inferius oder Pannonia, was aber als Provinzname erst unter *Nero* (37 n. Chr.–68 n. Chr.) oder *Vespasian* (9 n. Chr.–78 n. Chr.) belegt ist, wurde damals auch das östliche Grenzgebiet Noricums mit der Bernsteinstraße, Carnuntum-Petronell und dem Wiener Becken angeschlossen. Danach lag nach *Fitz* wahrscheinlich die legio IX Hispala in Siscia-Sisak und die legio VIII Augusta in Poetovio-Ptuj zur Sicherung der Bernsteinstraße. Seine Annahme, die legio XV Apollinaris könnte bereits damals nach Carnuntum-Petronell verlegt worden sein, wird heutzutage abgelehnt (vgl. Fitz

1977: 549; Mócsi 1962: 583; Gassner/Pülz 2015: 283). Karte 3 zeigt Pannonia in der frühen Kaiserzeit.

Karte 3: Pannonia in der frühen Kaiserzeit (aus Visy 2011a, Einband vordere Innenseite).

Zu den Sicherungsmaßnahmen des *Tiberius* gehörte auch eine politische Intrige gegen das Markomannenreich nördlich der Donau: *Drusus* initiierte den Sturz des *Marbod* durch den Gutonenfürsten *Catualda-Katwalda*. Nach der Vertreibung des letzteren um 18 n. Chr. durch seine Untertanen, der wie *Marbod* als Exulant eine ehrenvolle Aufnahme ins Reich fand, folgte die Gründung eines neuen Klientelkönigreichs nördlich der Donau aus den Gefolgschaften der beiden Exilkönige, das als Reich des *Vannius* (König 19–50 n. Chr.) in die Geschichte eingegangen ist, und auch einige Jahrzehnte existierte (vgl. Tacitus, Annales 2: 62–64: 75; Gassner/Jilek/Ladstätter 2002: 73; Mócsi 1962: 549). Unter Tiberius dürften bereits auch die beiden Donauflotillen aufgestellt worden sein. Die pannonische Donauflotte lag dann bei Taurunum-Zemum nahe dem modernen Belgrad, die mösische bei Noviodunum-Isaccea in

Rumänien, hatte aber auch eine Station in Sexaginta Prisca-Tutrakan in Bulgarien (vgl. Breeze 2011: 102).

Die Provinz Moesia ist noch vor dem Regierungsantritt des *Tiberius* eingerichtet worden (vgl. Appianus, Historia Romana 10: 30 (Bd. 2: 100–101); Mirković 2007: 21). *Tacitus* berichtet zum Jahr 23 n. Chr., dass damals in Pannonien und Moesien je zwei Legionen standen, aber der Standort und die genaue Bezeichnung der Einheiten sind nicht bekannt. *Tiberius* ließ auch 33/34 n. Chr. durch die obere Enge des Eisernen Tors eine Straße errichten, die dann von *Claudius* (10 v. Chr.–54 n. Chr.) und *Domitian* (51–96 n. Chr.) weiter ausgebaut und erneuert wurde. Inschriften belegen, dass die legio IV Scythica und die legio V Macedonia am Bau beteiligt waren. Ihre Stationierung war damals wahrscheinlich östlich des Eisernen Tors (Djerdap), die legio V Macedonia lag vermutlich in Oescus-Gigen. Beide Legionen waren wohl auch am Bau des Lagers von Boljetin in der ersten Hälfte des 1. Jahrhunderts beteiligt. Im Djerdapgebiet liegt auch das Kastell von Novae-Čezava (vgl. Tacitus, Annales: 4, 5 128); Mirković 2007: 22; Korać et al. 2014: 38 und 71–73). Anlagen der Frühzeit finden sich auch beim Mündungsdurchbruch der Porečka Reka zwischen der oberen und unteren Enge des Djerdap, im Becken von Donji Milanovac und ein Kastell auf dem Berg Mali Gradac (vgl. Mirković 2007: 28; Korać et al. 2014: 72.). Unter Claudius wurde dann die Moesia aus dem Verband mit Achaia und Macedonia ausgegliedert und bekam eine eigenständige Provinzverwaltung. Um 45 n. Chr. wurde im Zusammenhang mit der Gründung der Provinz Thrakien auch die legio VIII Augusta aus Pannonien nach Moesien verlegt, und um 60 n. Chr. wahrscheinlich die legio IV Scythica durch die legio VII Claudia aus Dalmatien ersetzt. Das Gebiet zwischen der Save und Moravamündung wurde hingegen wohl erst unter *Domitian* in den letzten Jahrzehnten des 1. Jahrhunderts militärisch besetzt (vgl. Mirković 2007: 22.).

Der nächste Schritt der Institutionalisierung und Verfestigung der Donaugrenze dürfte dann unter *Claudius* (Kaiser 45–54 n. Chr.) passiert sein. Er trennte auch das Wallis von Rätien ab und richtete eine neue Provinz Alpes Graiae et Poeninae ein und baute die via Claudia Augusta vom Po weiter bis an die Donau aus. Einen konzisen Überblick über die Befestigungen der claudischen Epoche in Rätien findet man bei *Karlheinz Dietz*: In Rätien sind jedenfalls damals Holz-Erde-Kastelle an der Donau angelegt worden. Bei vier von ihnen (Hüfingen, Rißtissen,

Aislingen, Burghofen) gibt es Zerstörungsspuren aus der Zeit um 68 n. Chr., in Unterkirchberg und Oberstimm fehlen sie. Diese Kastelle wurden in frühflavischer Zeit dann neu gebaut, aber bald aufgegeben. Im Hinterland verblieb als einziges größeres militärisches Zentrum Augsburg mit einem größeren Holz-Erde-Kastell und mindestens einer ala quingenaria. Die Donaulinie beginnt in Baden-Württemberg mit dem Kastell Brigobanne-Hüfingen mit einem großen spätclaudischen Kastell über frühen Spuren. Geht man dann die Donau entlang nach Osten, folgt als nächster Standort Tuttlingen. Dort gibt es keine Bauspuren, aber Funde aus dieser Zeit, ebenso in Mengen-Ennetach. In Emerkingen ist ein Holz-Erde-Kastell der claudisch-vepasianischen Epoche durch Luftbild nachgewiesen, in Rißtissen ergraben, ebenso in Unterkirchberg. Dann folgen zwei Kleinkastelle in Burlafingen und Nersingen. In Günzburg könnte ein weiteres Kleinkastell gewesen sein, ebenso beim spätantiken Kastell Bürgle bei Gundremmingen. Das nächste ist ein Holz-Erde-Kastell auf dem Sebastiansberg bei Aislingen, dann folgt ein Kastell, das wahrscheinlich Summontorium hieß, bei Burghöfe, das bis in die frühe Hadrianszeit belegt war. Bei Oberpeiching wird ein Kleinkastell vermutet, in Neuburg ist ein Holz-Erde-Kastell nachgewiesen. Dann folgt ein großes Kastell mit Doppelgraben bei Ingolstadt-Zuchering mit vorflavischem Material und südlich von Ingolstadt das Kastell Oberstimm als östlichstes Kastell am raetischen Donaulimes und kleinere Posten, die es versorgte, östlich davon. 69/70 n. Chr. vorübergehend aufgelassen, wurde es unter *Vespasian* (9–79 n. Chr.) wiederbesetzt und unter *Domitian* (51–96 n. Chr.) neu errichtet mit Steinfundamenten für das Praetorium und die Principia. Unter *Hadrian* (76–138 n. Chr.) wurde es noch erweitert, dann bald aufgelassen. Ein Hafen in der Brautlach ist durch Dendrodaten auf 91/92 n. Chr. datiert. In Oberstimm war auch ein Kleinkastell, das nächste lag wahrscheinlich in Eining mit vorflavischen Funden. Ein weiteres Kleinkastell lag auf dem Weltenburger Frauenberg und ein benachbartes in Weltenburg-Galget. Ein Kleinkastell ist wegen mehrerer Funde in Regensburg anzunehmen, ein Kleinkastell ist in Haardorf-Mühlberg bei Osterhofen belegt (vgl. Dietz 1995a: 73–78; Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 25–27). Das von *Karlheinz Dietz* und der älteren Literatur noch in die tiberische Zeit datierte Kastell Lentia-Linz ist heute unsicherer als je zuvor. Ein vicus im 1. Jahrhundert n. Chr. ist jedenfalls wie die vorrömische Siedlung um die Martinskirche am Schlossberg mit Kontinuität bis ins

2. Jahrhundert n. Chr. belegt. Im vermutlichen Bereich des Kastells in der Altstadt ist eine Militärpräsenz durch Sigillata-Funde erst Ende des 1. Jahrhunderts n. Chr. nachgewiesen, die Errichtung eines Steinkastells ist nach einem Brand Mitte des 2. Jahrhunderts anzunehmen und dieses ist durch die Grabungen 2015/2016 gesichert (vgl. Dietz 1995a: 78; Ployer 2018: 28–33). In Noricum ist überhaupt erst unter den flavischen Kaisern nach und nach mit einem linear ausgebauten Grenzkonzept begonnen worden (vgl. Ployer 2018: 12).

Zur Situation in Pannonien kann man Folgendes feststellen: Der Einzug der Sarmaten in die pannonische Tiefebene bedingte auch dort weitere Sicherungsmaßnahmen. Er erfolgte wahrscheinlich nach dem Abzug der Legio IX Hispana, der auf 43–45 n. Chr. datiert wird. Das machte die Stationierung von Auxiliareinheiten in Arrabona-Györ, Aquincum-Budapest, Albertfalva-Budapest, Gorsium-Tác, Lussonium-Paks, Brigetio-Komárom und Lugio- Dunaszekcső notwendig (vgl. Fitz 1977: 554). Eine militärische Präsenz ist damals bereits in Mursa-Osijek zur Sicherung des Mündungsgebietes der Drau und in Sirmium-Srmska Mitrovica anzunehmen (vgl. Visy 2008: 60). Auch in Carnuntum und Vindobona-Wien ist die Anlage eines Holz-Erde-Kastells und spätestens dann bereits die Stationierung einer Legion, der Legio XV Apollinaris in Carnuntum festzustellen (vgl. Humer 2011: 8; Kandler 1997: 272; Börner 1997: 243; Gassner/Pülz 2015: 242–261). Carnuntum war ja bereits der Ausgangspunkt für den Feldzug des *Tiberius* gegen *Marbod* im Jahr 6 n. Chr. gewesen.

An der mittleren Donau wurde entweder unter *Claudius* oder unter *Nero* auch die legio VII Claudia in Viminacium-Kostolac stationiert, wo sie möglicherweise die seit der augustäischen Zeit in Moesien operierende legio IV Scythica ablöste (vgl. Tufi 2000: 183). In Castellum Augustae bei Kozloduj standen die ala I Claudia Gallorum Capitoniana und dann auch die ala Augusta (vgl. Dyczek 2008: 56). *Rumen Ivanov* nimmt an, dass die Holz-Erde-Befestigung dort ebenso wie aus der Zeit des Claudius in Novae-Svištov in die gleiche Baustufe des Limes an der unteren Donau einzuordnen sind (vgl. Ivanov 2012: 23). In Oescus-Gigen wurde bereits am Ende des 1. Jahrzehnts im 1. Jahrhundert ein temporäres Lager angelegt, in dem zunächst wahrscheinlich die legio XX Valeria Victrix und die legio IV Scythica stationiert waren, ehe dann später im gleichen Jahrhundert die legio V Macedonia 62 n. Chr. und 71–106 n. Chr. hier ihr Legionslager hatte (vgl. Dyczek 2008: 59). Be-

reits 45 n. Chr. wurde die legio VIII Augusta aus Pannonien nach Novae-Svištov verlegt, wo zunächst ein Holz-Erde-Kastell errichtet wurde. Wahrscheinlich wurde sie 69 n. Chr. durch die legio I Italica ersetzt, die *Nero* nach Sueton während seines Aufenthalts in Griechenland 66/67 n. Chr. aufstellen ließ, weil er einen Feldzug an die Kaspische Pforte und nach Indien plante (vgl. Sueton, Vitae Caesarum. Nero: 19 (Sueton vol. 2, 112–115); Dyczek 2008: 67; Ritterling 1925: 1407–1417; Ivanov 2012: 23; anderer Meinung Schallmayer 2011: 24).

2 Die Zeit der Flavier

In der Zeit der Flavier wurde der Donauraum zum Angelpunkt der Nordverteidigung des Imperiums, bedingt auch durch die bedrohliche Nähe des Dakerreichs unter seinen Königen *Duras* (König 68–87 n. Chr.) und *Decebal* (König 85/87–106 n. Chr.) (vgl. Schallmayer 2011: 23). Speziell die verlustreichen Kriege *Domitians* (81–96 n. Chr.) gegen die Chatten von 83–85 n. Chr., die Daker von 85–88 n. Chr. und gegen die Markomannen, Sarmaten und Quaden 89–92 n. Chr. brachten eine weitere Verstärkung der Grenzbefestigungen an der Donau.

Vespasian und seine Söhne bauten nicht nur die römische Präsenz zwischen Rhein und Donau durch die Inbesitznahme und militärische Befestigung der Wetterau und die Erschließung des Schwarzwaldgebiets weiter aus, *Vespasian* ließ auch die in den Kämpfen des Vierkaiserjahres 68 n. Chr. zerstörten Kastelle in Rätien mehrheitlich wieder aufbauen und dehnte das römische Herrschaftsgebiet auch nördlich der Donau aus. Unter *Titus* (39–81 n. Chr.) wurde das Südufer der Donau weiter befestigt und eine ganze Reihe von inschriftlich belegten Kastellen zwischen Günzburg und Passau errichtet. Nach den Chattenkriegen *Domitians* wurden das Taunusgebirge und die Wetterau neu besetzt und militärisch gesichert und westlich davon in Rätien wohl schon in den ersten Jahren *Domitians* die obere Donau als Grenze aufgegeben und auf der Höhe der Schwäbischen Alb eine Kette von Kastellen, der Alblimes, errichtet. Nördlich der Donau waren die Kastelle Weißenburg, Munningen, Nördlingen, Oberndorf Kampf und Heidenheim die Verbindung dazu (vgl. Dietz 1995b: 101–103; Fischer/Reitmeier-Fischer 2008: 28; Sommer 2015a: 17).

An der Donau wurde 77/78 n. Chr. das Alenkastell Gontia-Günzburg entweder neu errichtet oder kräftig ausgebaut. Seine Besat-

zung war vermutlich die II ala Flavia miliaria. Eine Straße führte bei Stepperg über die Donau in die neu befestigten Gebiete nach Nordosten mit den Kastellen Nassenfals und Germanicum-Kösching und unterhalb des zeitgleichen Cohortenkastells bei Abusina-Eining wieder über die Donau zur Isartalstraße und weiter nach Noricum. Bauinschriften datieren Germanicum und Abusina auf die Jahre 79–81 n. Chr. und für Abusina-Eining, das erst später in Stein ausgebaut wurde, ist als erste hier stationierte Einheit die cohors IIII Gallorum belegt. Zur Sicherung der Verkehrswege zu Wasser und zu Lande wurden an der Donau nach Osten weitere Kastelle angelegt, als nächstes ein Holz-Erde-Kastell in Regensburg-Kumpfmühl, wo wahrscheinlich die cohors III Britannorum stationiert wurde. Ein zweites spätflavisches Kastell lag neben der Zivilsiedlung bei Regensburg-Bismarckplatz. Zwei Kastelle gab es auch in Straubing, das flavische Westkastell vermutlich mit der cohors II Raetorum. In Straubing lag wahrscheinlich auch von Anfang an sagittariorum. Bei Moos-Burgstall ist ein Holzkastell mit Rasensodenmauer belegt. Dieses war bis 120 n. Chr. besetzt und war um 90 n. Chr. durch das Kastell von Quintanis-Künzing verstärkt worden. Die Besatzung beider bildete die cohors III Thracum civium Romanorum. In Passau, als Batavis ursprünglich ein keltisches Oppidum, belegt hingegen nur Terra sigillata eine militärische Anlage (vgl. Dietz 1995b: 103; Sommer 2015a: 18; Fischer/Reitmeier-Fischer 2008: 28).

Auch in Noricum wurden in der zweiten Hälfte des 1. Jahrhunderts n. Chr. erste Holz-Erde-Kastelle, etwa in Pöchlarn, Mautern, Traismauer, Zwentendorf und Tulln, angelegt. Damit verbunden ist die Anlage der Limesstraße auch weiter zu den Legionslagern in Vindobona-Wien und Carnuntum in Pannonien als wichtige Ost-West-Verbindung (vgl. Gassner/Jilek 1997: 28; Ployer 2018: 13; Gassner/Pülz 2015: 23). In Pöchlarn-Arelape stand in der 2. Hälfte des 1. Jahrhunderts die cohors I Flavia Brittonum (vgl. Ployer 2018: 12 und 64–67). In Favianis-Mautern geben die archäologischen Untersuchungen 7 Bauphasen, die mit einem Holz-Erde-Kastell 70–80 n. Chr. beginnen, das 100–110 n. Chr. erweitert und umgebaut wurde, als ab 110 n. Chr. die cohors II Batavorum hier stationiert war. Das erste Steinlager entstand erst 130/140 n. Chr (vgl. Ployer 2018: 84–91; Gassner/Pülz 2015: 204–209). In Augustianis/Augustiana-Traismauer wird ein früh-kaiserzeitliches Holz-Erde-Kastell mit zwei bis drei Bauphasen angenommen, von dem aber nur Einzelaufschlüsse bekannt sind. Das Steinkastell wurde nach einer Bau-

inschrift von der ala I Augusta Thracum in der 1. Hälfte des 2. Jahrhunderts errichtet. Die erste Besatzung ist nicht nachgewiesen, könnte aber die ala I Thracum (victrix?) gewesen sein (vgl. Ployer 2018: 96–99; Gassner/Pülz 2015: 219–223). Das Auxiliarkastell von Asturis-Zwentendorf war nach den Ausgrabungen von *Herma Stiglitz* ursprünglich ein Holz-Erde-Kastell mit unregelmäßigem Grundriss aus der 2. Hälfte des 1. Jahrhunderts, das am Beginn des 2. Jahrhunderts in Stein ausgebaut wurde (vgl. Ployer 2018: 102–105; Gassner/Pülz 2015: 224–229). Comagena (Comagenis)-Tulln begann als Holz-Erde-Kastell unter *Domitian*, die erste Besatzung ist unbekannt. Eine Bauinschrift aus dem Jahr 104 n. Chr. belegt den Ausbau in Stein durch die ala I Commagenorum, die bis ins 3. Jahrhundert hier stationiert war und dem Ort den Namen gab (vgl. Ployer 2018: 106–110; Gassner/Pülz 2015: 229–232).

Bereits unter *Vespasian* (69–79 n. Chr.) wurde eine dritte Legion nach Pannonien verlegt und für das Jahr 73 n. Chr. ist der Bau des ältesten bekannten Auxiliarkastells in Aquincum-Óbuda durch Fragmente der Bauinschrift belegt (vgl. Musilová/Turčan et al. 2011: 173; Beszédes 2011: 22). Spätestens im gleichen Jahr dürfte auch Carnuntum-Petronell in Stein ausgebaut worden sein (vgl. Humer 2011: 8; Gassner/Pülz 2015: 278-291). Aber auch für Klosterneuburg wird der älteste Kastellbau als Holz-Erde-Konstruktion für die 70er Jahre angenommen. Nacheinander waren hier die cohors I Montanorum, die cohors II Batavorum und die cohors I Aelia sagittariorum stationiert (vgl. Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 66; Gassner/Pülz 2015: 239–241). Auch die Anlage des Reiterkastells der Ala I Flavia Augusta Britannica milliaria C.R. auf dem Areal des heutigen Schottenklosters auf der Freyung in Wien fällt in die Zeit *Domitians*. Wenig später, unter *Nerva* begonnen, zwischen 97 und 102 n. Chr., wurde dann das Legionslager von der legio XIII gemina Martia victrix gebaut. Ein Bruchstück einer monumentalen Bauinschrift des Nerva und eine Bautafel eines centurio dieser Legion datieren das Ereignis (vgl. Mosser 2008: 9–11; Gassner/Pülz 2015: 242).

In Pannonien wurde unter *Domitian* (81–96 n. Chr.) die Truppenpräsenz verstärkt, so dass schließlich 4 Legionen dort standen. Das militärische Schwergewicht des Imperiums verschob sich entscheidend vom Rhein an die Donau, wie auch ab *Domitian* der Limes insgesamt einen Bedeutungswandel von offensiven Ausfallsstraßen zur Verteidi-

gung des Reichs als Grenze erfuhr. In dieser Epoche wurden auch weitere Auxiliareinheiten nach Pannonien und Moesien verlegt (vgl. Visy 2011b: 13; Breeze 2011: 103). So kann auch die erste Bauphase des Auxiliarkastells von Schwechat-Ala Nova nach den Ausgrabungen 2010/2011 an das Ende des 1. Jahrhunderts datiert werden (vgl. Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 68; Gassner/Pülz 2015: 267–270). 89 n. Chr. wurde auch das erste Legionslager in Aquincum gebaut, das dann am Beginn des 2. Jahrhunderts in Stein ausgebaut wurde (vgl. Visy 2011b: 13; Beszédes 2011: 24) In diesen Jahren entstanden auch die Auxiliarkastelle in Cirpi-Dunabogdány, Albertfalva, Intercisa-Dunaújvaros und Annamatia-Baracs (vgl. Beszédes 2011: 22).

Im Winter 85/86 brach der 1. Dakerkrieg *Domitians* aus, als der Dakerkönig *Duras-Diurpaneus* die Donau überschritt, den Statthalter von Moesien *Gaius Oppius Sabinus* (um 40–85 n. Chr.) besiegte und tötete und Legionslager und Auxiliarkastelle zerstörte. *Domitian* eilte selbst an den Kriegsschauplatz und leitete die Gegenaktionen von Naissus aus (vgl. Gudea/Lobüscher 2006: 15). Zu den Maßnahmen *Domitians* gehört auch die Teilung der Provinz Moesien im Jahr 86 n. Chr., begleitet vom Ausbau der Truppen an der Donau, der in jeder der beiden neuen Donauprovinzen zwei Legionen vorsah bzw. 5–6 insgesamt in der Region. In der Moesia Superior standen schließlich die legio VII Claudia und die IV Flavia, in Moesia inferior die Legio I Italica und die V Macedonica. In den Dakerkriegen *Domitians* war die VII Claudia jedoch noch an der unteren Donau stationiert, später dann in Viminacium-Kostolac, die legio IV Flavia bis 86 n. Chr. in Dalmatien und dann nach *Miroslava Mirković* zunächst in Viminacium-Kostolac, ab 117 n. Chr. in Singidunum-Belgrad. Sie nahm dann am Dakerkrieg *Trajans* teil und baute für ihn die Straßen (vgl. Mirković 2007: 31). Nach dem wechselvollen Kriegsgeschehen erhielt der Dakerkönig *Decebal* 89 n. Chr. im Friedensvertrag Hilfsgelder und Baumeister und wurde als Rex socius anerkannt, er musste aber auch den römischen Truppen den Durchzug durch Dakien von Moesia superior an die Front gegen die Markomannen gestatten und *Domitian* Brückenköpfe am linken Donauufer im Banat und in Oltenien bauen lassen (vgl. Gudea/Lobüscher 2006: 16.). Wie in Noricum muss man auch in Pannonien und Moesien zusätzlich mit der Stationierung von Auxiliareinheiten rechnen. Alle bekannten Auxiliarkastelle an der ripa pannonica in Ungarn und Kroatien sind spätestens unter *Trajan* oder am Beginn der Herrschaft *Hadrians* ange-

legt worden (vgl. Visy 2008: 60). Aber dazu folgt später mehr für die Zeit *Trajans*.

Seit der Mitte des 1. Jahrhunderts war Ratiaria-Arčar bereits ein Reiterkastell, im Jahr 86 in Stein ausgebaut und dann Legionslager, Ausgangspunkt für *Trajans* Kriegszüge gegen die Daker. Hier waren die legio IV Italica, die legio VII Claudia und vielleicht auch eine ala Gallica stationiert (vgl. Dyczek 2008: 53–55; Ivanov 2012: 23–29). Vielleicht ist zur Zeit Domitians auch das Kastell bei Nikopol angelegt worden, von dem weder das Baudatum noch der antike Name bekannt sind. Es existierte jedenfalls bis ins 2. Jahrhundert nach Christus, wie eine Grabinschrift aus der Zeit *Marc Aurels* belegt (vgl. Dyczek 2008: 62). Mindestens seit der Zeit *Vespasians* stand auch das Kastell von Dimum-Belene. Seine Garnison bildeten zunächst Auxiliareinheiten der legio VIII Augusta, dann die legio I Italica, im 2. und 3. Jahrhundert die ala Solensium. Zum Schutz von Dimum gab es außerdem das Kastell Securisca-Čerkovitsa und ein weiteres ohne Namen bei Hisar westlich von Dimum-Belene. 3 km östlich stand ein drittes bei Gorno Gradište und noch einmal 2 km weiter das Kastell von Quintodimum-Gredata (vgl. Dyczek 2008: 64). Vermutlich schon in der Zeit der Flavier wurde auch das Kastell von Sexaginta Prisca-Ruse errichtet. In Stein ausgebaut wurde es dann unter *Trajan*. Zunächst lag hier die cohors III Gallorum in Garnison, dann bis ca. 145 n. Chr. die cohors II Mattiacorum (vgl. Dyczek 2008: 85). Eine Bauinschrift gibt Hinweise darauf, dass das Kastell Appiaria 6 km östlich von Rjachovo um 76 n. Chr. errichtet wurde. Zunächst waren hier wahrscheinlich eine cohors Mattiacorum und die ala I Gallorum Atectorigiana stationiert (vgl. CIL III 12452: 2099; Dyczek 2008: 86). Vermutlich um 86 n. Chr. wurde das Kastell von Nigrianis, später Candidiana, beim Dorf Malak Preslavets als Holz-Erde-Kastell errichtet. Zunächst war hier die legio XI Claudia Figliana Candidiana stationiert, im 2. Jahrhundert die cohors I Lusitanorum Cyrenaica (vgl. Dyczek 2008: 88). Ebenfalls im späten 1. Jahrhundert gab es auch bereits ein Kastell in Durostorum-Silistra, wo zwischen 86 und 101 n. Chr. die cohors II Flavia Brittonum stationiert war (vgl. Dyczek 2008: 89). Aus Aegyssus-Tulcea sind von der römischen Siedlung vor der spätantiken Festung bisher nur Thermen und ein Denkmal für *Titus* bekannt, das aber das älteste römische Zeugnis in der rumänischen Dobrudscha ist (vgl. http://danubelimesbrand. org/aegyssus-

romania/ abgerufen am 12.3.2022; Ployer/Polak/Schmidt 2019: 243 Nr. RO285.).

3 Die Eroberung Dakiens und der dakische Limes

Ein weiterer Ausbau und eine grundlegende Umgestaltung nach der Eroberung Dakiens war dann mit den Dakerkriegen *Trajans* (53–117 n. Chr.) 101–102 und 105–106 n. Chr. verbunden, die mit der Eroberung des Dakerreichs und der Einrichtung einer neuen Provinz Dacia endeten. Zu den flankierenden Maßnahmen gehörte auch der Ausbau der Kastelle an der oberen Donau und in Pannonien und zwischen 103 und 107 n. Chr., möglicherweise 106 n. Chr., die Teilung der Pannonia in zwei Provinzen. In der Spätzeit *Domitians* und am Beginn der Herrschaft *Trajans* wurde das kontrollierte Gebiet in Rätien kräftig nach Norden erweitert. Unter *Trajan* lagen dann alle Auxiliarreiter nördlich der Donau, 1000 in Heidenheim und dann in Aalen, je 500 in Weißenburg, Kösching und Pförring. Gegen Ende der Herrschaft *Domitians* wurde an der Donau das Kastell Künzing als Holz-Erde-Kastell ausgebaut und löste Moos-Burgstall ab. Auch das Kastell Straubing III entstand damals. Vermutlich entstand schon um 100 n. Chr. zwischen Weißenburg und Ruffenhofen die Limeslinie mit ihren Begleitstraßen und Holztürmen. Schon unter *Domitian* wurde eine Kette von Kastellen (der Alblimes) an der Alb errichtet, die bei Weißenburg endete (vgl. Dietz 1995b: 112; Sommer 2015a: 18). In der Zeit *Trajans* errichtete man eine militärisch überwachte Grenzlinie im Westteil Rätiens nördlich der Donau vom Kastell Ruffenhofen bis nach Eining. Von da zog sich eine befestigte Flussgrenze bis an die Donaumündung (vgl. Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 30).

In Noricum wurden in den letzten Jahrzehnten des 1. Jahrhunderts Passau-Boiodurum (vgl. Matesić/Sommer 2015: 212–215; Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 195; Gassner/Pülz 2015: 128–130) und Wallsee-Locus Felicis (ältere Vermutung Adiuvense) als Holz-Erde-Kastell errichtet und im 2. Jahrhundert in Stein ausgebaut. Vermutlich lag dann in Wallsee die cohors I Aelia Brittonum, später auch die legio II Italica, die legio X Gemina pia fidelis und die cohors V Breucorum (vgl. Ployer 2018: 50–55; Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 58; Gassner/Pülz 2015: 184–187). In Mautern-Favianis ist 110/110 n. Chr. die zweite Bauphase anzusetzen, der Steinausbau erfolgte zwischen

120/140 n. Chr. und hängt mit der Ablösung der Besatzung durch die cohors I Aelia Brittonum miliaria zusammen (vgl. Ployer 2018: 84–91; Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 61; Gassner/Pülz 2015: 204–209). Das Steinkastell in Traismauer-Augustianis wurde nach der Bauinschrift in der 1. Hälfte des 2. Jahrhunderts von der ala I Augusta Thracum errichtet, die dem Ort auch den Namen gab (vgl. Ployer 2018: 96–99; Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 62; Gassner/Pülz 2015: 219–223). In den letzten Jahrzehnten des 1. Jahrhunderts wurde auch Zwentendorf-Asturis als Holz-Erde-Kastell errichtet und am Beginn des 2. Jahrhunderts (nach Groh 120/130 n. Chr.) in Stein ausgebaut. Die erste Besatzung könnte die cohors V Breucorum equitata civium Romanorum oder die cohors I Asturum equitata quingenaria gestellt haben (vgl. Ployer 2018: 102–105; Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 63; Gassner/Pülz 2015: 224–229). In Tull-Comagenis, Comagena belegt eine Bauinschrift für das Jahr 104 n. Chr. den Ausbau in Stein und nennt die namengebende ala I Commagenorum (vgl. Ployer 2018: 106–111; Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 62; Gassner/Pülz 2015: 229–233). Ende des 1. Jahrhunderts wurde das östlichste Kastell in Noricum, Zeiselmauer-Cannabiaca, als Holz-Erde-Kastell errichtet und nach einem Brand bis zur Mitte des 2. Jahrhunderts in Stein ausgebaut. Zuerst stand hier vermutlich die cohors V Breucorum, ab 122 n. Chr. bis ins 3. Jahrhundert dann die cohors II Thracorum equitata pia fidelis (vgl. Ployer 2018: 112–116; Jilek/Kuttner/Schwarcz 2011: 64; Gassner/Pülz 2015: 234–238).

Unter *Domitian* und *Trajan* wurden die Truppen in Pannonien konsequent aus dem Landesinneren an die Grenze verlegt, so dass schließlich 4 Legionen, 17 Auxiliarkohorten und 10-12 Alen (Reiterschwadronen) an der Ripa Pannonica standen (vgl. Schallmayer 2011: 23; Visy 2011b: 13). Die Limesstraße führte von Noricum weiter durch Pannonien über das Alenkastell von Klosterneuburg zum Legionslager Vindobona-Wien, dem Auxiliarkastell Ala-Nova-Schwechat nach Carnuntum-Petronell, Legionslager und Sitz des Provinzgouverneurs und Legaten der Pannonia superior, wie in Wien verbunden mit einem Auxiliarkastell. Danach teilte sich die Straße, ein Zweig ging direkt nach Ad Flexum-Mosonmagyaróvár, die Hauptstrecke über das Auxiliarkastell Gerulata-Rusovce auch dorthin (vgl. Visy 1985: 37–40). Ende des 1. Jahrhunderts dürften Gerulata-Rusovce (vgl. Musilová et al. 2011: 102–107; Gassner/Pülz 2015: 295–299) und auch das Kastell Ad Flexum-

Mosonmagyaróvár errichtet worden sein. Das Kastell Quadrata dürfte hingegen spättrajanisch sein. Der wichtige Verkehrsknotenpunkt Arrabona-Györ an der Mündung von Raab und Rabnitz in die Donau hatte hingegen schon seit *Claudius* ein Auxiliarkastell und wurde Anfang des 1. Jahrhunderts in Stein ausgebaut vgl. (Visy 1985: 43–46). Die Verbindung zwischen den Kastellen wurde durchgehend durch Wachttürme in Sichtweite ergänzt. Die nächsten Kastelle sind Ad Statuas-Àcs-Vaspuszta, am Ende des 1. Jahrhunderts errichtet, und Ad Mures-Ács-Bumbumkút aus der Zeit *Trajans* (vgl. Visy 1985: 49–52). Damals wurde etwas vor dem Jahr 100 n. Chr. das Legionslager von Brigetio-Komárom/Szöny errichtet. Bereits im 1. Jahrhundert gab es hier ein Holz-Erde-Kastell für eine Auxiliareinheit. Nun bauten vexillationes der legio XIII gemina, der legio XIV gemina und der legio XV Apollinaris ein permanentes Kastell, in das zunächst 100–101 n. Chr. die legio XI Claudia aus Vindonissa-Windisch im Aargau verlegt wurde. Diese wurde 105 n. Chr. von der legio XXX Ulpia victrix abgelöst, und dieser folgte nach weiteren 10 Jahren die legio I adiutrix, die den Festungsbau fertigstellte (Borhy et al. 2011: 45–47). Während der Markomannenkriege wurde dann ca. 170 n. Chr. auf der anderen Seite der Donau das Kastell Kelemantia-Iža-Léanyvár als Vorposten für Brigetio gebaut (vgl. Musilová et al. 2011: 116–119). Von Brigetio führte die Limesstrasse nach Aquincum weiter über die Kastelle Odiavum (bei Almásfüzitő, Ende 1. Jahrhundert), Crumerum-Nyergesútfalu und Tokod nach Solva-Esztergom (vgl. Visy 1985: 58–68). Von dort ging sie weiter über spätantike Wachttürme und Befestigungen bis Cirpi (bei Dunabogdány), dem östlichsten Auxiliarkastell in Pannonia superior mit einem Holz-Erde-Kastell aus der Zeit der Flavier, zu Beginn des 2. Jahrhunderts in Stein ausgebaut (vgl. Visy 1985: 68–76).

Das System regelmäßiger Abstände zwischen den Auxiliarkastellen mit Wachttürmen, je nach lokalen Gegebenheiten in Abständen von 500 - 1000 m, setzte sich auch in der Pannonia inferior fort. Auch die Kastelle zwischen Ulcisia-Szentendre im Westen und Ad Statuas-Várdomb im Süden der Provinz entstanden in etwa gleichzeitig mit Brigetio in den letzten Jahrzehnten des 1. Jahrhunderts (vgl. Schallmeier 2006: 24; Visy 2011b: 13). Das westlichste Kastell Ulcisia Castra-Szentendre wurde dann in spättrajanischer Zeit schon in Stein ausgebaut (vgl. Visy 1985: 78). Das Legionslager Aquincum-Óbuda war nun Sitz des Provinzgouverneurs und wurde nun in Stein ausgebaut. Seine

permanente Besatzung war die Legio II adiutrix (vgl. Beszédes 2011: 22). Im 2. Jahrhundert erhielt Aquincum-Óbuda eine Donaubrücke mit einer Gegenfestung, Transaquincum (vgl. Visy 1985: 84). Nach Süden sicherte eine Kette von Auxiliarkastellen mit Wachttürmen dazwischen von Albertfalva, Campona-Nagytétény, Matrica-Dunafüred, Vetus Salina-Adony, Intercisa-Dunaújváros, Annnamatia-Baracspuszta nach Lussonium-Paks (vgl. Visy 1985: 87–114) und von dort weiter bis zur Grenze mit der Provinz Moesia superior über die Auxiliarkastelle Alisca-Szekszárd, Ad Statuas-Várdomb, Lugio-Dunaszekcsö, Altinum-Kölked, Ad Militare-Batina, Ad Novae-Zmajevac, Mursa-Osijek, Teutoburgium-Dalj, Cornacum-Sotin, Cuccium-Ilok, Malata (später Bononia)-Banostor, Acumincum-Stari Slankamen und Burgenae-Novi Banovovci. 10 Meilen entfernt davon lag am äußersten Ende Pannoniens in Taurunum-Zemun an der Savemündung der wichtigste Stützpunkt der Donauflotte, der Classis Flavia Pannonica (vgl. Visy 1985: 115–130).

Das Legionslager von Singidunum-Belgrad und das wohl von *Trajan* in Stein ausgebaute Legionslager von Viminacium-Kostolac in Serbien mit der Legio VII Claudia schützten die Moesia superior (vgl. Schallmayer 2011: 24). Dazu kamen die Auxiliarkastelle, die im 1. Jahrhundert oder am Beginn des 2. Jahrhunderts errichtet wurden mit Castra Tricornia-Rekopis bei Belgrad und östlich von Viminacium-Kostolac Lederata-Ram, Pincum-Veliko Gradište, Cuppae-Golubac mit der cohors I Flavia Hispanorum, Castrum Novae-Čezava aus dem 1. Jahrhundert, nun in Stein ausgebaut, ebenso auch Saldum an der Mündung der Kožica und das Kastell (später Smyrna) in Boljetin, Campsa-Ravna, Taliata-Veliki Gradac, Transdierna-Tekija, Diana-Karataš, Pontes-Kostol, Egeta-Brza Palanka, Aquae-Prahovo, Dorticum-Rakovica und Bononia-Vidin, von denen dann einige nach der Errichtung der Provinz Dacia aufgegeben wurden (vgl. Korać et al. 2014: 67–80; Mirković 2007: 40). Die schon bestehenden Holz-Erde-Kastelle westlich des Djerdap wurden damals in Stein ausgebaut. Eine Bauinschrift belegt dies für Castrum Novae-Čezava für das Jahr 98 n. Chr., Ziegelstempel der legio VII Claudia fanden sich in Ledarata-Ram, Banatska Palanka, Pontes-Kostol und in Drobeta-Turnu Severini. Erneuert wurden wohl auch Pincum-Veliko Gradište und Cuppae-Golbac sowie die Befestigungen gegenüber den dakischen oppida im Südbanat (vgl. Mirković 2007: 36; Korać et al. 2014: 68–81). 100/101 n. Chr. wurde auch bei Kladovo das Kastell Diana angelegt. Unweit davon baute dann 102–105

n. Chr. *Apollodorus von Damaskus* (um 65–um 130 n.Chr.) die Donaubrücke bei Drobeta-Turnu Severini (Abbildung 2).

Abb. 2: Donaubrücke des Apollodorus von Damaskus (Copyright Schwarcz).

Die Brücke wurde durch das Kastell Drobeta und ein zweites Kastell, Transdrobeta, am anderen Ufer der Donau geschützt. Dies gehörte wie die Anlage von Straßen im Hinterland und die durch die berühmte Tafel *Trajans* in das Jahr 100 n. Chr. datierte Straße durch das eiserne Tor, die erstmals sowohl die obere wie auch die untere Enge verband, zu den Baumaßnahmen des Kaisers zur Vorbereitung und Durchführung seiner dakischen Kriege. Die Brücke wurde allerdings bereits unter *Hadrian* wieder abgedeckt. Für die Schifffahrt wurde auch ein Kanal bei Sip angelegt und unweit des Kanals das Kastell Diana errichtet, wo zunächst dann die cohors I Cretum und 103–107 n. Chr. die cohors I Antiochenum stationiert waren (vgl. Cassius Dio, Historia Romana, 68,13: 5-6 (CD 8: 384–387); Schallmayer 2011: 24; Breeze 2011: 103; zu den Baumaßnahmen insgesamt Mirković 2007: 35–39; Korać et al. 2014: 75–87). In Egeta-Brza Palanka waren unter *Trajan* die cohors I Cretum und Detachements der legio VII Claudia stationiert. Das Kastell Aquae-Prahovo mit der cohors I Cantabrorum bestand schon vor 100 n. Chr., hatte wahrscheinlich einen Hafen (vgl. Korać et al. 2014: 78–81). Nach dem Sieg im Dakerkrieg wurde auch das Tropaeum Traiani bei Adamclissi als Siegesmonument errichtet.

In der Zeit *Nervas* (96–98 n. Chr.) oder *Trajans* (98–117 n. Chr.) wurde dann auch das Legionslager von Novae-Svištov in Stein ausgebaut (vgl. Ivanov 2012: 23). Möglicherweise ging auch dem spätantiken Kastell von Iatrus-Krivina ein Vorgängerbau aus dem 1. Jahrhundert n. Chr. voraus, der sich nach *Piotr Dyczek* aber nur aus der Anlage des Kastells vermuten lässt und aus der Tatsache, dass hier später ein cuneus equitum scutariorum der legio I Italica stationiert war. Ähnlich ist die Lage auch beim spätantiken Kastell von Sucidava-Batin, wo auch nur Ziegelstempel der legio I Italica auf eine längere Verweildauer der Truppen an diesem Ort schließen lassen. Auch in Transmarisca-Tutrakan ist nur das spätantike Kastell erhalten, das von *Ludmil Vagalinski* 1989–1991 und 1995–1997 erforscht wurde (Vagalinski 2012). Eine Anlage im späten 1. Jahrhundert lässt sich nur vermuten. Hingegen ist der Steinausbau des Legionslagers von Durostorum-Silistra genau festlegbar, weil ab dem Jahr 104 n. Chr. hier die legio XI Claudia stationiert war (vgl. Dyczek 2008: 68–89). Auch schon im 1. Jahrhundert n. Chr. gab es in Noviodunum-Isaccea eine Flottenstation (Situl arheologic de la Isaccea - Noviodunum - La Pontonul Vechi (Noviodunum). National Archeological Record of Romania (RAN) Nr.159696.05:
http://ran.cimec.ro/?Lang=EN&codran=159696.05%20 abgerufen 21.3.2022).

Nach den Dakerkriegen wurde nicht nur ein neuer Limes in Dakien geschaffen, westlich davon sicherten die beiden Legionslager in Singidunum-Belgrad mit der legio IV Flavia ab 117 n. Chr. und in Viminacium-Kostolac seit *Trajan* mit der legio VII Claudia die Grenze. *Miroslava Mirković* vermutet, dass bis zum Ende des 2. Jahrhunderts der Limes östlich von Viminacium aufgegeben wurde und die Kastelle erst in der Zeit der Severer wieder benutzt und erneuert wurden (vgl. Mirković 2007: 40).

Östlich von Viminacium wurden an der unteren Donau auch die Legionen neu verteilt, um die Moesia inferior vor Einfällen zu schützen. Als erste Befestigung der neuen Provinz Dacia wurde schon 105 n. Chr. das Kastell Drobeta-Turnu Severini in Stein ausgebaut, das als Brückenkopf für die Donaubrücke des *Apollodorus* diente (http://danubelimesbrand.org/drobeta-romania/ abgerufen 22.3.2022). Im Jahr 106 wurde Ratiaria-Arčar zur Colonia Ulpia Traiana Ratiaria, die militärischen Einheiten von dort abgezogen, aber wahrscheinlich

damals die Stadtmauer in Stein ausgeführt (vgl. Dyczek 2008: 54; Ivanov 2012: 27). Auch Oescus-Gigen wurde damals zur Colonia Ulpia Oescus, die legio V Macedonia abgezogen (vgl. Dyczek 2008: 58). Ab 104 n. Chr. stand die legio XI Claudia in Durostorum-Silistra (vgl. Dyczek 2008: 89; Schallmayer 2011: 24). In Troesmis-Turcoaia war von 107–161 n. Chr. die legio V Macedonia stationiert, danach in Potaissa-Turda, außerdem die legio I Italica. In Troesmis-Turcoaia existierte auch eine Flottenbasis. Ein Ausbau des Legionärslagers erfolgte zwischen *Trajan* und *Marc Aurel* (http://danubelimesbrand.org/troesmis-turcoaia-romania/ abgerufen 22.3.2022). Dazu kamen nach *Schallmayer* noch zahlreiche Auxiliarkastelle, die zunächst nur in Holz-Erde-Bauweise errichtet wurden (vgl. Schallmayer 2011: 24). Eines davon war möglicherweise Sucidava-Celei, das im 2. Jahrhundert n. Chr. gegenüber von Oescus angelegt wurde (http://danubelimesbrand.org/sucidava-celei-romania/ abgerufen 22.3.2022). Auch in Dinogetia-Garvăn (DINOGETIA Romania (http://danubelimesbrand.org) abgerufen 22.3.2022) und Halmyris-Murighiol gibt es römische Kastelle, die dann in der Spätantike massiv ausgebaut wurden. In Halmyris wurde am Beginn des 2. Jahrhunderts ein Steinkastell von vexillationes der legio I Italica und der XI Claudia errichtet, und dort war auch eine Flottenstation der classis Flavia Moesica im 2. und 3. Jahrhundert (vgl. http://danubelimesbrand.org/halmyris-romania/ abgerufen 22.3.2022; Zahariade 1996: 227 und 230).

Bereits nach dem Sieg von 102 n. Chr. und dem ersten Friedensvertrag wurden Gebiete in Dakien besetzt und Truppen dort stationiert, darunter mindestens drei Legionen (wohl die legio IV Flavia, die XIII Gemina und die I Adiutrix), Auxiliartruppen und vexillationes anderer Einheiten. *Gudea* nimmt den Bau von vier Legionslagern an, bei Drobeta-Turnu Severini, Bersobis-Berzovia, Zăvoi und Sarmizegetusa (vgl. Gudea/Lobüscher 2006: 21 und 32). Nach dem Ende des Kriegs wurde im Sommer 106 n. Chr. bereits eine Provinz Dacia geschaffen, die den größten Teil Siebenbürgens, das Banat zwischen Mureş-Marosch, Tisza-Theiß und Donau und den westlichen Teil Olteniens umfasste. In den ersten Jahren war in Apulum-Alba Iulia die legio XIII Gemina stationiert, und die legio IV Flavia bei Berzovia-Bersobis. Zusätzliche Legionsvexillationes waren auf mehrere Orte verteilt. 118/119 n. Chr. zog dann *Hadrian* seine Truppen aus der Großen Walachei zurück und richtete zwei kleinere Provinzen ein:

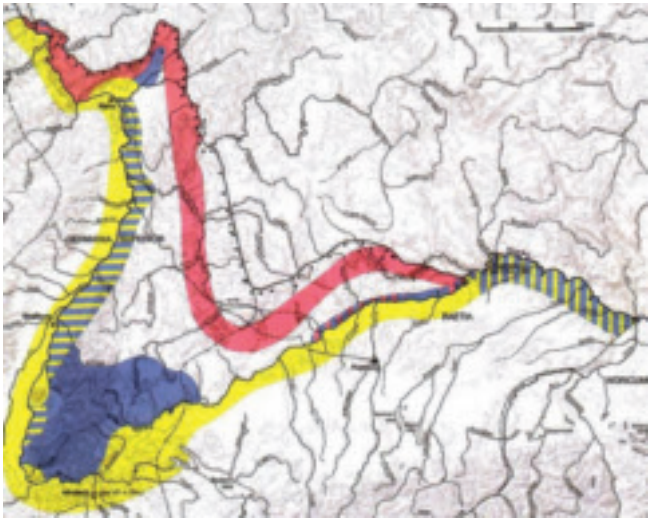
1. die Dacia Inferior in der Kleinen Walachei und der Binnenregion im Südosten Siebenbürgens mit der Olt als Provinzgrenze gegen das Barbaricum, an der eine Reihe von Auxiliarkastellen als limes Alutanus errichtet wurden, und
2. die Dacia Superior mit dem größten Teil der binnenkarpatischen Regionen und dem Banat, wo auch die legio XIII Gemina in Apulum-Alba Julia als einzige Legion verblieb. Die legio IV Flavia kehrte nach Singidunum-Belgrad zurück.

133 n. Chr. ist dann als dritte Provinz im Norden bereits die Dacia Porolissensis am Oberlauf der Mureş-Marosch und am Unterlauf des Aries nachgewiesen. 169 n. Chr. wurde dann die legio V Macedonica aus Troesmis-Turcoaia nach Potaissa-Turda verlegt (vgl. Gudea/Lobüscher 2006: 21).

Ein umfassendes System von Wällen, das sukzessive ausgebaut wurde, schützte die untere Donau. Einer dieser Wälle mit Wachttürmen ging entlang des Flusses Olt über 235 km. Ein weiteres, der „Brazda lui Novac de nord" begann bei Drobeta-Turnu Severini, querte den Olt und ging über insgesamt 300 km bis Pietroasele. Der „Brazda lui novac de sud" ging über 170 km und schützte dank einer Strombiegung der Donau auch moesisches Territorium gegen Norden (vgl. Dyczek 2008: 49). Mit der Installation des limes Alutanus aus der Zeit *Hadrians*, später dann in der Severerzeit durch den limes Transalutanus östlich davon, wurde jedenfalls auch im neu gewonnenen Dakien dem allgemeinen Programm *Hadrians* der Sicherung fester Grenzen Rechnung getragen. Am bekanntesten sind davon die Errichtung des obergermanischen Limes und die des Hadrianswalls als nördlichen Grenzwall in Britannien (vgl. Schallmayer 2006:25; Gudea/Lobüscher 2006: 22).

Im Zuge seiner Reise an die Grenzen des Reichs in den Jahren 121–125 nach Chr. scheint *Hadrian* im Frühjahr 122 n. Chr. die Grenzen Noricums, Raetiens und Germaniens inspiziert zu haben, was auch durch Münzprägungen für die Besuche in Rätien und Noricum von Erinnerungsmünzen nach dem Abschluss seiner Reisen belegt ist. Bereits vor der Reise hatte der Kaiser die Errichtung des obergermanischen Limes in Auftrag gegeben, der als Palisadenwall mit Holztürmen errichtet wurde. Unter *Hadrian* wurde auch Augsburg zu municipium erhoben (vgl. SHA v.Hadriani, 12,6 (SHA vol. 1: 38–39); Schallmayer 2011: 57; Dietz 1995b: 119). Schon zu Beginn seiner Herrschaft (117–138 n. Chr.) wurde auch die militärische Ordnung an der Donau in

Pannonien vollendet: 4 Legionen und ca. 30 Auxiliareinheiten schützten die Donau von Klosterneuburg bis Belgrad. Mehr als 200 Wachttürme dazwischen sind bekannt. Der Abstand zwischen den Kastellen, welche die Limesstraße verband, war 10–30 km, die Wachttürme standen zueinander in Sichtweite in einer Entfernung zwischen 500 m und 2 km (vgl. Visy 2011b: 12.). Zur Zeit *Hadrians* wurde auch Aquincum-Óbuda, das 106 n. Chr. die Metropole der neuen Provinz Pannonia inferior geworden war, 124 n. Chr. zum municipium erhoben (vgl. Láng 2011: 30). *Hadrian* erhob auch Mursa-Osijek zur colonia und Singidunum-Belgrad zum municipium. Karte 4 stellt die römische Okkupation am obergermanisch-rätischen Limes dar.



Karte 4: Phasen der Okkupation am obergermanisch-rätischen Limes: Grenzzonen in Claudischer Zeit an Rhein und Donau (gelb), in frühflavischer Zeit um 80 n. Chr. (blau), in domitianisch-trajanischer Zeit (rot) und Limesverlauf seit der Mitte des 2. Jahrhunderts bis um 260 n. Chr. (aus Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 26).

4 Der Limes um die Mitte des 2. Jahrhunderts

Unter seinem Nachfolger *Antoninus Pius* (138–161 n. Chr.) erreichte der Ausbau der Grenzen des Imperiums seine größte Ausdehnung, wie nicht nur der Antoninuswall in Schottland, sondern auch die Vorverle-

gung der Grenzlinie südlich des Mains und die erste Einrichtung des rätischen Limes bezeugen, der aber erst später, in den Sechzigerjahren, als Palisade ausgebaut wurde. In die Bautätigkeit waren auch die Kastelle an der Donau einbezogen: Kösching-Germanicum, Pförring-Celeusium und Eining-Abusina wurden wie die Kastelle an der Ostseite des rätischen Limes in Stein ausgebaut, Straubing-Sorviodurum und Regensburg wurden zum Standort zweier Steinkastelle, ebenso neben dem Cohortenkastell Regensburg-Kumpfmühl wahrscheinlich noch ein zweites Kastell im Bereich des vicus des späteren Legionslagers. In Stein wurden auch Künzing-Quintana und die beiden Kleinkastelle von Alkoven und Steinkirchen ausgebaut und wahrscheinlich auch das Kastell von Passau, das in den Markomannenkriegen zerstört wurde und dann mit einer neuen Besatzung, vielleicht der cohors IX Batavorum, wieder aufgebaut wurde. Der spätantike Name Batavis wird davon abgeleitet (vgl. Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 34; Dietz 1995b: 122–125).

Eine ähnliche Bautätigkeit fand auch in Noricum statt, wo das Holz-Erde-Kastell von Boiodurum in Stein ausgebaut wurde. Im 2. Jahrhundert wurde auch das Kleinkastell von Oberranna errichtet, Ende des 2./Anfang des 3. Jahrhunderts auch der Burgus von Hirschleitengraben, in Linz Mitte des 2. Jahrhunderts ein Steinkastell. Auch Wallsee wurde, wie oben schon erwähnt, in dieser Periode in Stein ausgebaut (vgl. Ployer 2018: 20–33 und 50–55).

Größere Umstellungen brachten noch die Markomannenkriege (166–180 n. Chr.) und ihre Folgen. Kurz nach 172 n. Chr. wurden die Kastelle Straubing und Regensburg-Kumpfmühl zerstört. Für den Krieg stellte man seit Längerem erstmals wieder neue Legionen auf, die traditionell in Italien angeworben wurden. Die legio II Italica und die legio III Italica stellten dann auch nach dem Krieg die Besatzungen in Rätien und Noricum (vgl. Cassius Dio, Historia Romana: 55, 24, 4 (CD 6: 456–457); Dietz 1995b: 140; Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 34). Die Provinzhauptstadt Augusta Vindelicorum-Augsburg erhielt damals eine steinerne Stadtbefestigung. Eine vexillatio der legio III Italica bezog bald nach 170 n. Chr. das Kastell von Eining-Unterfeld, das allerdings nur kurzfristig genutzt wurde, das Legionslager in Regensburg entstand in mehreren Jahren Bauzeit bald nach 175 n. Chr., eine Bauinschrift (IBR 362: 112 und Tafel 49=AE 1971, 292: 99) gibt 179 n. Chr. als Jahr der Fertigstellung der Umfassungsmauer an (vgl. Dietz 1995b:

149; Konrad 2005: 91; Fischer/Riedmeier-Fischer 2008: 34). Entlang des Donaulimes wurden in Rätien und in Noricum zerstörte Kastelle erneuert. Für Pannonia inferior belegt eine Inschrift (CIL III 10312–10312:. 1683), dass das ganze (Donau-)Ufer durch Türme (burgi) und Wachtposten (praesidia) an den Übergängen befestigt wurde (vgl. Dietz 1995b: 158). Dies ist auch für die obere Donau in Rätien und Noricum anzunehmen.

Während der Kriege war bereits ab 170 n. Chr. das Legionslager von Albing für die legio II Italica angelegt worden, der endgültige Standort war dann Enns-Lauriacum, wo eine Bauinschrift die Fertigstellung des wahrscheinlich ab ca. 190 n. Chr. begonnenen unter Septimius Severus im Jahr 205 n. Chr. belegt (Bauinschrift http://www.ubi-erat-lupa.org/monument.php?id=4860 abgerufen 26.3.2022; Ployer 2018: 34–45). Auch die bis dahin relativ offene Lücke zwischen Passau und Linz wurde mit einem Kleinkastell in Ioviacum-Schlögen, um 170 n. Chr. angelegt, und mit Wachttürmen geschlossen (vgl. Gassner/Jilek/Ladstätter 2002: 22; Ployer 2018: 22–27). *Septimius Severus* (146–211 n. Chr.), der von den pannonischen Legionen in Carnuntum zum Kaiser ausgerufen wurde, begann wahrscheinlich ein Erneuerungsprogramm am Limes, als er einen Besuch in Raetien und Germanien plante, um dann von dort mit seinen Söhnen *Geta* (189–211 n. Chr.) und *Caracalla* (188–217 n. Chr.) im Jahr 208 n. Chr. weiter nach Britannien zu reisen. Zu diesen Maßnahmen gehörte wohl auch der Ausbau des rätischen Limes in Stein. Die Holzfundamente des Walls kann man auf den Winter 206/207 n. Chr. datieren (vgl. Sommer 2015b: 31). Auf den Germanienfeldzug *Caracallas* im Jahr 213 n. Chr. geht das als Siegesmonument ausgestaltete und in Abbildung 3 gezeigte Limestor bei Dalkingen zurück (vgl. Matešić/Sommer 2015: 82–85).

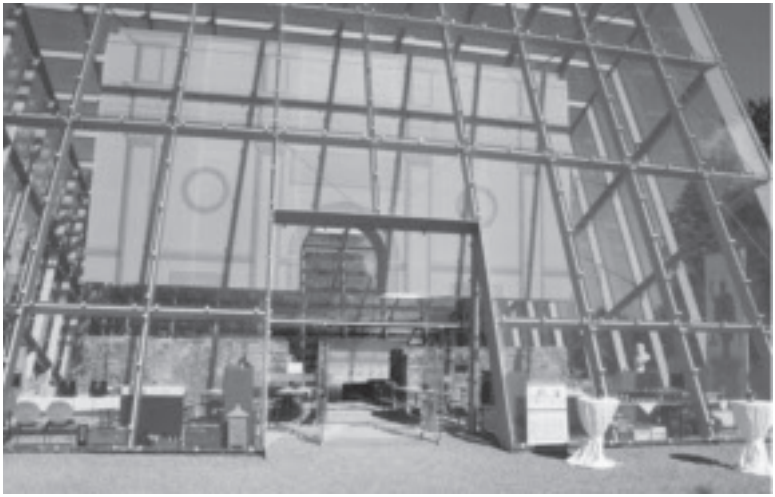


Abb. 3: Limestor und Triumphbogen des Caracalla bei Dalkingen (Copyright Schwarcz).

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Ausbau der ripa an der Donau hatte in der augustäisch-tiberischen Epoche begonnen. Seit *Claudius* waren die Befestigungen ausgebaut worden. Unter *Domitian* entstand dann in den Achtzigerjahren des 1. Jahrhunderts eine Befestigungslinie, die am Ende dieses Jahrhunderts und am Beginn des 2. Jahrhunderts weitgehend ausgebaut war und unter *Hadrian* dann Teil einer das ganze Imperium umspannenden Grenzkonzeption wurde. Ihre größte Ausdehnung erreichten diese Grenzen etwa 150 n. Chr. zur Zeit des *Antoninus Pius*. An der Donau bestanden sie aus einer Kette von Kastellen in Abständen von 10 bis 30 km mit Wacht- und Signaltürmen in unterschiedlicher Entfernung nach topographischen und Sichtgegebenheiten, verbunden mit einer Uferstraße, die als Kommunikationsmittel und für Truppeneinsätze ausgebaut wurde (vgl. Jilek 2009: 53; Jilek 1997: 45). Legionslager und Kastelle lagen nach einer Studie von *Sebastian C. Sommer* (vgl. Sommer 2009: 112) in der Regel an Stellen, an denen die Topographie wechselte, d.h. am Beginn und Ende von großen Ebenen, am Strom oder dem Beginn

und Ende von gebirgigen Regionen, bevorzugt auch an Flussmündungen in den Strom, die Hafenanlagen ermöglichten. Auf diese Weise wurde ein System geschaffen, das Kommunikation entlang der ganzen Länge des Flusses ermöglichte und an neuralgischen Punkten Truppen konzentrierte, die im Bedarfsfall entlang der Limesstraße eingesetzt werden konnten. Unter *Septimius Severus* und *Caracalla* wurde sie erneut gesichert, aber ab ca. 240 n. Chr. begannen die Einfälle der Goten in die Balkanprovinzen, die schließlich nach 270 n. Chr. zur Aufgabe der Dacia führten. Damit wurde die untere Donau auch wieder zur befestigten Grenze, die über die Erschütterungen der Völkerwanderung bis zum Ende das 6. Jahrhunderts gehalten wurde.

Der rätische Limes nördlich der oberen Donau wurde nach neueren Studien wahrscheinlich bereits nach dem großen Alamanneneinfall 254 n. Chr. aufgegeben, der obergermanische Limes nach 260 n. Chr. und die Grenze an den Rhein zurückgelegt (vgl. Planck/Thiel 2009: 80). Mit den Reformen der Tetrarchie wurde auch die Grenzverteidigung neu organisiert. Die Provinzen wurden geteilt, zahlreiche kleinere Einheiten in den Grenzprovinzen stationiert. Die Kastelle wurden deswegen verkleinert, nahmen in der Spätantike aber auch die Zivilbevölkerung auf. Unter der Tetrarchie bildeten nahezu überall wieder die Flussläufe die Grenzlinie. So auch der Donau-Iller-Rhein-Limes vom oberen Rhein über die Iller bis zur Donau, der nur zwischen Bregenz und Kempten aus der überwachten Limesstraße bestand (vgl. Planck/Thiel 2009: 80; Matešić/Sommer 2015: 25). Unter *Valentinian I.* (364–375 n. Chr.) wurde die Grenze noch einmal durch den Bau zahlreicher kleinerer Burgi, teilweise auch jenseits der Donau, verstärkt. Dann folgte auch hier der langsame Verfall bis zum Ende des Westreichs, soweit nicht die neuen Königreiche die römischen Anlagen selbst übernahmen. Abbildung 4 zeigt das Monument, das an die Kaiserkonferenz 308 n. Chr. erinnert, bei der in Carnuntum die Herrschaftsnachfolge des Römischen Reichs geregelt und die Weichen für die wenig später gewährte Religionsfreiheit gestellt wurden („Heidentor" in Petronell-Carnuntum).

Abb. 4: „Heidentor“ zur Kaiserkonferenz 308 n. Chr. in Petronell-Carnuntum (Copyright Schwarcz).

Bibliographie

Beszédes, József (2011): „Military Forts at Aquincum”. *Romans on the Danube. The Ripa Pannonica in Hungary as a World Heritage Site*, ed. by Zsolt Visy. Pécs: University of Pécs, 22–28.

Börner, Wolfgang (1997): „Wien-Vindobona. Legionslager – Canabae – Autonome Stadt.” *Der römische Limes in Österreich. Führer zu den archäologischen Denkmälern*, hrsg. Herwig Friesinger, Friedrich Krinzinger. Wien: ÖAW, 241–252.

Borhy, László / Bartus, Dávid / Czajlik, Zoltán / Rupnik, László / Számadó, Emese: Brigetio(Komaárom/Szőny) (2011): „Fortress/City next to the Danube“. *Romans on the Danube The Ripa Pannonica in Hungary as a World Heritage Site*, ed. by Zsolt Visy. Pécs: University of Pécs, 42–51.

Boteva, Dilyana (2012): „Ancient Literary Tradition on Moesi/Moesia (Mid 1st c. BC – Mid 1st c. AD)”. *The Lower Danube Roman Limes (1st-6th c. AD)*, ed. by Ludmil Vagalinski, Nikolay Sharankov, Sergey Torbatov. Sofia: National Archeological Institute with Museum, 9–22.

Breeze, David J. (2011): *The Frontiers of Imperial Rome*. Barnsley, Eng., Philadelphia: Pen&Sword.

Czysz, Wolfgang / Dietz, Karlheinz / Fischer, Tomas / Kellner, Hans-Jörg et al. (Hrsg.) (1995): *Die Römer in Bayern*. Stuttgart: Konrad Theiss.

Danov, Christo (1979): „Die Thraker auf dem Ostbalkan von der hellenistischen Zeit bis zur Gründung Konstantinopels". *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt* II Principat 7/1, hrsg. von Hildegard Temporini. Berlin, New York: De Gruyter, 21–185.

Dietz, Karlheinz (1995a): „Okkupation und Frühzeit". *Die Römer in Bayern*, hrsg. von Wolfgang Czysz, Karlheinz Dietz, Tomas Fischer, Hans-Jörg Kellner und andere. Stuttgart: Konrad Theiss, 18–99.

Dietz, Karlheinz (1995b): „Die Blütezeit des römischen Bayern". *Die Römer in Bayern*, hrsg. von Wolfgang Czysz, Karlheinz Dietz, Tomas Fischer, Hans-Jörg Kellner und andere. Stuttgart: Konrad Theiss, 100–176.

Dyczek, Piotr (2008): *The Lower Danube in Bulgaria*. Warszawa, Wien: Janusz Bieszczad.

Eck, Werner (1997a): „Cornelius II 25. Cn. C. Lentulus Augur". *Der Kleine Pauly* 3. Stuttgart, Weimar: Druckenmüller, 194.

Eck, Werner (1997b): „Caecina II 8". *Der Neue Pauly* 2. Stuttgart, Weimar: J.B. Metzler, 898–899.

Eck, Werner (2001): „Pomponius II 10". *Der Neue Pauly* 10. Stuttgart, Weimar: J.B. Metzler, 124.

Fischer, Thomas / Riedmeier-Fischer, Erika (2008): *Der römische Limes in Bayern. Geschichte und Schauplätze entlang des UNESCO-Welterbes*. Regensburg: Friedrich Pustet.

Fitz, Jenö (1977): „Die Eroberung Pannoniens". *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt* II Principat 6, hrsg. von Hildegard Temporini. Berlin, New York: De Gruyter, 543-556.

Friesinger, Herwig / Krinzinger, Friedrich (Hrsg.) (1997): *Der römische Limes in Österreich. Führer zu den archäologischen Denkmälern*. Wien: ÖAW.

Gassner, Verena / Jilek, Sonja (1997): „Die historische Entwicklung des Limes in Noricum und dem westlichen Pannonien". *Der römische Limes in Österreich. Führer zu den archäologischen Denkmälern*, hrsg. von Herwig Friesinger, Friedrich Krinzinger. Wien: ÖAW, 26–43.

Gassner, Verena / Jilek, Sonja / Ladstätter, Sabine (2002): *Am Rande des Reichs. Die Römer in Österreich. Österreichische Geschichte 15 v.Chr. –378 n.Chr.* Wien: Ueberreuter.

Gassner, Verena / Pülz, Andreas (Hrsg.) (2015): *Der römische Limes in Österreich. Führer zu den archäologischen Denkmälern*. Wien: ÖAW, 242–261.

Gudea, Nicola / Lobüscher, Thomas (2006): *Dacia. Eine römische Provinz zwischen Karpaten und Schwarzem Meer*. Mainz: von Zabern.

Gundel, Hans Georg (1964): „Curio 1". *Der Kleine Pauly* 1. Stuttgart: Alfred Druckenmüller Verlag, 1343–1344.

Humer, Franz (2011): „Carnuntum, die größte archäologische Landschaft Mitteleuropas". *Carnuntum und Limes. Denkmalpflege in Niederösterreich* 45, 6–15.

Ivanov, Rumen (2012): „The Roman Limes in Bulgaria". *The Lower Danube Roman Limes (1st–6th c. AD)*, ed. by Ludmil Vagalinski, Nikolay Sharankov, Sergey Torbatov. Sofia: National Archeological Institute with Museum, 23–43.

Jilek, Sonja (1997): „Militärische Anlagen am Limes". *Der römische Limes in Österreich. Führer zu den archäologischen Denkmälern*, hrsg. von Herwig Friesinger, Friedrich Krinzinger. Wien: ÖAW, 45–55.

Jilek, Sonja (2009): *Der Donaulimes. Eine römische Flussgrenze*. Warszawa: Hussar Books.

Jilek, Sonja / Kuttner, Eva / Schwarcz, Andreas (2011): *Der Donaulimes in Österreich*. Wien: Hussar Books.

Kandler, Manfred (1997): „Carnuntum. Legionslager – Kastell – Canabae –Autonome Stadt". *Der römische Limes in Österreich. Führer zu den archäologischen Denkmälern*, hrsg. von Herwig Friesinger, Friedrich Krinzinger. Wien: ÖAW, 258–272.

Kienast, Dieter (²1992): *Augustus. Prinzeps und Monarch*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Konrad, Michaela (2005): *Die Ausgrabungen unter dem Niedermünster zu Regensburg II. Bauten und Funde der römischen Zeit. Auswertung. Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte* 57. München: Beck.

Korać, Miomir / Golubović, Snežana / Mrdić, Nemanja / Jeremić, Gordana / Pop-Lazić (2014): *Roman Limes in Serbia*. Beograd: Institute of Archeology.

Láng, Orsolya (2011): „The Civilian Town of Aquincum". *Romans on the Danube. The Ripa Pannonica in Hungary as a World Heritage Site*, ed. by Zsolt Visy. Pécs: University of Pécs, 29–36.

Matešić, Suzana / Sommer, C. Sebastian (Hrsg.) (2015): *Am Rande des Römischen Reiches. Ausflüge zum Limes in Süddeutschland. Beiträge zum*

Welterbe Limes Sonderbd.3. München: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege.

Mirković, Miroslava (1977): „Römische Städte Obermösien". *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt* II Principat 6, hrsg. von Hildegard Temporini. Berlin, New York: De Gruyter, 811–848.

Mirković, Miroslava (1996): „The Iron Gates (Đerdap) and the Roman Policiy on the Moesian Limes AD 33-117". *Roman Limes on the Middle and Lower Danube*, ed. by Petar Petrović. Cahiers des Portes de Fer. Monographies (Beograd) 2, 27–40.

Mirković, Miroslava (2007): *Moesia Superior. Eine Provinz an der mittleren Donau*. Mainz: von Zabern.

Mócsi, Andreas (1962): „Pannonia". *Paulys Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaften* (RE), hrsg. von Georg Wissowa, Wilhelm Kroll, Georg Mittelhaus, Konrat Ziegler. Suppl. Bd. 9. Stuttgart: Drückenmüller, 516–776.

Mosser, Martin (2008): *Judenplatz. Die Kasernen des römischen Legionslagers*. Wien: Stadtarchäologie Wien.

Musilová, Margaréta / Turčan, Vladimír et al. (2011): *Roman Monuments on the Middle Danube from Vindobona to Aquincum*. Bratislava: Foundation for National Cultural Heritage Preservation.

Petrović, Petar / Vasić, Miloe (1996): „The Roman Frontier in Upper Moesia: Archeological Results in the Iron Gate Area: Results". *Roman Limes on the Middle and Lower Danube*, ed. by Petar Petrović. Cahiers des Portes de Fer. Monographies 2. Beograd: Archeological Institute, 15–26.

Petrović, Petar (Hrsg.) (1996): *Roman Limes on the Middle and Lower Danube*. Cahiers des Portes de Fer. Monographies 2. Beograd: Archeological Institute.

Planck, Dieter / Thiel, Andreas (Hrsg.) (2009): *Das Limeslexikon: Roms Grenzen von A bis Z*. München: C.H. Beck.

Ployer, René (2018): *Der römische Limes in Österreich*. Österreichische Denkmaltopographie 1 Materialheft B 3. Wien: Ferdinand Berger&Söhne.

Ployer, René / Polak, Marinus / Schmidt, Ricarda (2019): *The Frontiers of the Roman Empire. A Thematic Study and Proposed World Heritage Nomination Strategy*. Wien: Phoibos.

Ritterling, Leo (1925): „Legio (I Italica)". *Paulys Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft* (RE) XII,2. Stuttgart: J.B.Metzler, 1407–

1417.

Schallmayer, Egon (2011): *Der Limes. Geschichte einer Grenze*,. 3.Auflage. C.H. Beck, München.

Schwarcz, Andreas (2016): „Das Werden des Donaulimes". *Der Donaulimes in der Spätantike und im Frühmittelalter*, hrsg. von Andreas Schwarcz, Peter Soustal, Antoaneta Tcholakova,. Miscellanea Bulgarica 22. Wien: LIT, 3–22.

Sommer, C. Sebastian (2009): „Why here? The positioning of forts along the riverine frontiers of the Roman Empire". *The Army and Frontiers of Rome. Papers offered to David J. Breeze on the occasion of his sixty-fifth birthday and his retirement from Historic Scotland*, ed. by William S. Hanson. Journal of Roman Archeology Supplementary Series 74. Portsmouth: Rhode Island, 103–114.

Sommer, C. Sebastian (2015a): „Der Limes in Süddeutschland". *Am Rande des Römischen Reiches. Ausflüge zum Limes in Süddeutschland*, hrsg. von Suzana Matešić, C. Sebastian Sommer. Beiträge zum Welterbe Limes Sonderbd. 3. München: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 14–25.

Sommer, C. Sebastian (2015b): „Fragen, Fragen, Fragen". *Am Rande des Römischen Reiches. Ausflüge zum Limes in Süddeutschland*, hrsg. von Suzana Matešić, C. Sebastian Sommer. Beiträge zum Welterbe Limes Sonderbd. 3. München: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, 26–33.

Southern, Pat (2005): *Augustus*, autorisierte dt. Übersetzung Neuwald-Morton, Birgit. Essen: Magnus.

Temporini, Hildegard (Hrsg.) (1977 und 1979): *Aufstieg und Niedergang der römischen Welt* II Principat 6 und 7/1. Berlin, New York: De Gruyter.

Tufi, Sergio Rinaldo (2000): *Archeologia delle Province Romane*. Roma: Carocci.

Vagalinski, Ludmil / Sharankov, Nikolay / Torbatov, Sergey (Hrsg.) (2012): *The Lower Danube Roman Limes (1st-6th c. AD)*. Sofia: National Archeological Institute with Museum.

Visy, Zsolt (1985): *Der pannonische Limes in Ungarn*. Budapest: Corvina, Stuttgart: Konrad Theiss.

Visy, Zsolt (2008): *The Roman Limes in Hungary*. Pécs: Pécsi Tudományegyetem Régészeti Széminarium.

Visy, Zsolt (Hrsg.) (2011a): *Romans on the Danube. The Ripa Pannonica in*

Hungary as a World Heritage Site. Pécs: University of Pécs Department of Archeology.

Visy, Zsolt (2011b): „The Pannonian Limes in Hungary". *Romans on the Danube. The Ripa Pannonica in Hungary as a World Heritage Site*, ed. by Visy, Zsolt Pécs: University of Pécs, 12–28.

Zahariade, Mihail (1996): „The Roman Frontier in Scythia Minor (1980-1994)". *Roman Limes on the Middle and Lower Danube*, ed. by Petar Petrović. Cahiers des Portes de Fer. Monographies 2. Beograd: Archeological Institute, 223–234.

Quellen

AE : L'Année épigraphique. Révue des publications épigraphiques relatives à l'antiquité romaine. Paris Presses universitaires de France.

Appianus (1912): Appian's Roman History in four volumes with an English translation by McGing, Brian (Hrsg.). 2 Bde., Loeb Classical Library 1 f., London William Heinemann Ltd. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

CD: Cassius Dio, Roman History with an English translation by Cary, Earnest on the basis of the version of Foster, Herbert Baldwin. 9 vols, 1914-1927, hier vol. 6. Loeb Classical Library 83 (1917), und vol. 8. Loeb Classical Library 176 (1925), London William Heinemann Ltd. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

CIL III: Corpus Inscriptionum Latinarum 3 (1873). Inscriptiones Asiae, provinciarum Europae Graecorum Illyrici Latinae edidit Mommsen, Theodor. Berlin Reimer.

Eutropius (1879): Eutropius, Breviarium ab urbe condita cum versionibus Graecis at Paulis Landolfi additamenta, edidit Droysen, Hans (Hrsg.). Monumenta Germaniae Historica, Auctores Antiquissimi 2, Berlin Weidmann.

Festus (1967): The Breviarium of Festus. A Critical Edition with Historical Commentary by Eadie, S.W., London, Athlone Press.

Florus, Epitome (1947): Lucius Annaeus Florus, Epitome of Roman History, with an English translation by Foster, Edmund Seymour (Hrsg.). Loeb Classical Library 231, London William Heinemann Ltd. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

IBR (1915): Inscriptiones Baivariae Romanae sive inscriptionae provinciae Raetiae adeiectis aliquot Noricis Italicisque, edidit Vollmer,

Friedrich (Hrsg.), München, Franz.

T. Livi Periochae omnium librorum: Ab urbe condita, edidit Rossbach, Otto. In: T. Livi ab urbe condita libri 4 Bände, hier 4. Bd. ed. Rossbach, Otto, Weissenborn, W. und Müller, M. (Hrsg.), Leipzig Teubner 1959.

Notitia dignitatum (1876): Seeck, Otto (Hrsg.) Notitia Dignitatum accedunt Notitia Urbis Constantinopolitanae et Laterculus Provinciarum. Weidmann, Berlin.

SHA: The Scriptores Historiae Augustae (1953–1954), with an English translation by Magee, David (Hrsg.). 3 Bde., Loeb Classical Library 139, 140 und 263, London William Heinemann Ltd. Cambridge, Mass. Harvard University Press, hier vita Hadriani, vol.1:. 2–81.

Sueton: Suetonius (1950–1951), with an English translation by Rolfe, J.C. (Hrsg.). 2 Bde., Loeb Classical Library 31 und 38, London William Heinemann Ltd. Cambridge, Mass. Harvard University Press.

Tacitus, Annales (1960): P. Cornelius Tacitus, Annales edidit Erich Koestermann. Teubner, Leipzig.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 69–77*

Worte des Dankes und der Erinnerung

Armin Jähne
(Berlin, MLS)

Etwas Anderes als der aus verschiedensten Anlässen tagtäglich und milliardenfach rund um den Globus in vielerlei Form ausgesprochene Dank sind retrospektive Danksagungen. Sie basieren auf Erinnerungen, setzen Beobachtung voraus, schließen Vergleiche ein, und sie erzeugen Wissen. Sie gehen meist über das rein Individuelle hinaus, erfassen sie doch gleichermaßen das gesellschaftliche wie soziales Umfeld und – nicht zu unterschätzen – politische Erfahrungen. Insofern sind sie nicht nur Zeitzeugnisse, sondern ihnen ist – Gegenwart und Zukunft betreffend – auch eine bestimmte Nachhaltigkeit zu eigen.

Ein solcher Dank gilt für die Kindheit zuvörderst meiner Familie, in der ich – dank meinem Großvater mütterlicherseits – weitgehend vorurteilsfrei aufwuchs. Das sollte mir später im Umgang mit anderen Menschen und Kulturen vieles erleichtern. Lediglich mein Vater brachte aus Krieg und Gefangenschaft einen Antiamerikanismus mit, der sich mir einpflanzte und der – bis heute – immer wieder neue Nahrung findet. Das hinderte mich aber nicht, kurzzeitig einen US-amerikanischen Freund zu haben.

Zu einem frühen Dank bin ich meinen Lehrern in der heimatlichen Grundschule und in der Goethe-Internatsoberschule in Bischofswerda verpflichtet (heute Goethe-Gymnasium). Sie waren fast alle so genannte „Junglehrer", förderten unsere Entwicklung nach Kräften und zeigten viel Verständnis für uns mehr oder minder kriegsgeschädigte Kinder. Unlängst entdeckte ich in meiner Bibliothek ein Büchlein mit folgender Widmung wieder: „Für treue Bibliotheksarbeit von Deinem Lehrer

Hausmann, Weihnachten 1951“. Ich war damals zehn Jahre alt und sein Famulus in der Schul- und Gemeindebibliothek, die immer donnerstags öffnete und einen Ansturm von Lesern mit der knappen Lektüre zu versorgen hatte. Seither ist der Donnerstag ein für mich wichtiger Wochentag geblieben. Allen Lehrern, namentlich den Lehrern in der Oberschule, verdanke ich eine vorzügliche Bildung, die sich auch im internationalen Vergleich behauptete. Ich erinnere mich an die Testate im Fach Kunstgeschichte, das an der Historischen Fakultät der Moskauer Lomonosov-Universität zum festen Studienplan gehörte. Nach dem 1. Semester wurden uns nach mündlicher Prüfung Kunstpostkarten gezeigt. Ich sagte beim Anblick der ersten Karte nur „Giotto“ und schon hatte ich – als einziger von uns Ausländern – bestanden, dank dem Maler *Siegfried Hedusch*, meinem Lehrer für Zeichnen und Kunstgeschichte in der Oberschule.

Dann erreichte mich im Frühsommer 1961 ein Brief der Humboldt-Universität in Zittau, wo ich als ABC-Aufklärer in der Führungsbatterie eines Artillerieregiments meinen Freiwilligendienst in der NVA ableistete. Der Brief forderte mich auf, mit einem Erziehungsberechtigten in Berlin zu erscheinen. Es ginge um ein Auslandsstudium. Der Urlaub wurde umgehend bewilligt und mir die damals notwendige Berlinkarte ausgehändigt. In Berlin, wo ich vorimmatrikuliert war, erfuhr ich, dass ich zum Studium der „Klassischen Archäologie“ in die Sowjetunion geschickt werden sollte. Die Entscheidung fiel mir relativ leicht, da ich spürte, dass es irgendwelche Schwierigkeiten mit meinem Studienplatz gab. Andererseits trug ich mich lange Zeit mit dem Gedanken, Militärarzt zu werden. Letztlich war Berlin eine Sternstunde in meinem Leben. Unendlich dankbar bin ich der Gesellschaft und dem Staat, der mich zum Studium in die sowjetische Hauptstadt delegierte, das Studium bezahlte und mich mit einem ausreichenden Stipendium versorgte, so dass ich mich sorgenfrei Studium und Wissenschaft widmen konnte.

Zurück im Regiment, fasste mich eines Tages der Batteriechef am Uniformrock und sagte: „Armin, entweder Du trittst in die Partei (SED) ein oder Du fährst nicht nach Moskau“. Ich wusste, woher der Wind wehte und blieb parteilos. Ich sage das ganz dezidiert, weil ich oft zu hören bekam, man habe in der Sowjetunion nur studieren können, wenn man Parteimitglied war.

Der Anfang in Moskau war nicht einfach. Zuerst musste ich mich im studentischen Alltag mit Bibliotheksausweis, der Beschaffung von

Lehrbüchern, den vielen einzuholenden Sprawkas etc. zurechtfinden. Dabei halfen mir namentlich meine Kommilitoninnen, die mich buchstäblich an die Hand nahmen. Da im ersten Studienjahr auch Latein gelehrt wurde und ich der Einzige war, der Lateinkenntnisse besaß, konnte ich ihnen bei den Schwierigkeiten des Übersetzens etwas von ihrer Hilfe zurückgeben.

Als ich in Moskau ankam, war mein Russisch schlicht ungenügend, doch der Wille groß, sich die unerlässliche Sprachkompetenz schnell anzueignen. Es wurde zur regelrechten Lust, die russische Sprache, gründlich, umfassend und in ihrer vollen Schönheit zu erlernen. Meine Russischlehrerin, deren Name mir leider entfallen ist, verstand es immer wieder trickreich, mich allein zu unterrichten. Sie brachte mir nicht nur Russisch bei, sondern führte mich auf unvergessliche Weise in die russische Literatur ein: *Fedor I. Tjutčev*, *Afanasij A. Fet*, *Sergej A. Esenin*, *Aleksandr A. Blok*, *Andrej P. Platonov*, *Vladimir F. Tendrjakov*, um nur wenige zu nennen, und mein geliebter *Konstantin G. Paustovskij*. Sie war es auch, die mich in steter Regelmäßigkeit auf in Moskau stattfindende große und kleine Kunstausstellungen hinwies, nonkonforme Künstler eingeschlossen. Den zweimaligen Besuch der berühmt-skandalösen Kunstausstellung von 1962 in der Manege, nahe dem Kreml, verdanke ich ihr ebenfalls: vor und nach dem Besuch von *Nikita S. Chruščëv*, der einige der Bilder drastisch kritisiert hatte. Dass es mit meinem Russisch merklich vorranging, lag auch an meinen beiden Freunden, dem Moskauer und späteren Archäologen *Gennadij W. Foteev* und dem Ethnologen *Vladimir E. Vladykin*, heute emeritierter Professor in Iževsk.

Das Studium an der Historischen Fakultät der Moskauer Lomonosov-Universität war nicht mit westlichen Universitäten zu vergleichen, auch nicht mit der Humboldt-Universität zu Berlin. Es bezog alle Zeitperioden und den gesamten Globus ein, was nur auf der Grundlage vorhandener, frisch verfasster Lehrbücher möglich war. Hinzu kamen – für Studenten der Geschichtswissenschaft, denke ich, ein Glücksfall – Vorlesungen (samt Prüfung) in den Fächern Archäologie, Ethnographie, Kunstgeschichte, Geschichte der Philosophie, Politische Ökonomie (mit Seminar). Im Gedächtnis geblieben sind mir u. a. *Anna P. Sercova*, die auf vernünftige Art und ohne doktrinäre Allüren Dialektischen und Historischen Materialismus lehrte, und die Politökonomin *Antonina A. Novoselceva*, die – entgegen offizieller Auffassungen – für eine sozialistische Marktwirtschaft und für ein Nebeneinander ver-

schiedener Eigentumsformen im Sozialismus eintrat. Nicht vergessen seien der Philosoph und Philosophiehistoriker *Boris G. Safronov*, der uns Aspiranten seinen Liebling Hegel nahebrachte, und der Kunstwissenschaftler *Dmitrij V. Sarabjanov*, dessen Werke auch auf Deutsch erschienen sind (u. a. die Monographien über die Maler *Robert Falk*, 1974 und *Valentin Serov*, 1996). Prägend für mich war das Seminar zur „Orientalischen Frage" (Meerengenproblematik – Bosporus, Dardanellen), geleitet von *Nina S. Kinjapina*, eine Thematik, die mich im Zusammenhang mit der Geschichte des Balkans wiederholt beschäftigt hat, wie mein Literaturverzeichnis belegt. Stark beindruckte mich die Persönlichkeit des Ethnographen *Sergej A. Tokarev*, der in den frühen 1950er Jahren am Aufbau der ethnographisch/ethnologischen Lehre und Forschung an den Universitäten der DDR mitgewirkt hatte und den ich in den Jahren der Aspirantur näher kennenlernen durfte.

Die ersten Jahre meines Studiums fielen in die Zeit des sogenannten ideologischen „Tauwetters", d.h. in die letzten Jahre der *Chruščëv*-Ära. Die Vorlesungen zur Geschichte der KPdSU waren von großer Offenheit. Nicht selten hieß es „Hefte zu, Stifte weg", und dann hagelte es Zahlen und Fakten. In den Seminaren zur Vorlesung nahmen wir Studenten kein Blatt vor den Mund und diskutierten die meist von uns aufgeworfenen Probleme auf heftigste Weise. Mich diesen Auseinandersetzungen zu entziehen, ging nicht. Hätte ein solch kritisches und lautstarkes Seminar an der Humboldt-Universität stattgefunden, wir wären alle unverzüglich exmatrikuliert worden – ohne Wiederkehr.

Da es das in Deutschland aufgeblähte Fach „Klassische Archäologie" an sowjetischen Universtäten nicht gab, wurde ich ab dem zweiten Studienjahr am Lehrstuhl für Alte Geschichte ansässig. Bereits jetzt begann für uns künftige Althistoriker die Spezialisierung, wobei die Alte Geschichte in Moskau nicht nur die griechisch-römische Antike, sondern alle damals bekannten Hochkulturen von Ägypten über Indien bis hin zu China umfasste. Mit dem dritten Studienjahr setzte die engere Spezialisierung ein. Ich entschied mich für die Geschichte des Hellenismus und, darin eingebettet, für die Geschichte des Reiches der Ptolemäer, des hellenistischen Ägyptens. Die Dissertationen A (1971) und B (1980) hatten Themen seiner Geschichte zum Gegenstand.

Am Lehrstuhl für Alte Geschichte sammelten sich in der Regel nur wenige Studenten. Der Arbeitsaufwand war hier entschieden höher als in anderen Fächern. Wir waren sechs, vorübergehend sieben Studenten,

alles Enthusiasten, eine Art von studentischer Elite. Lehrstuhlleiter war damals (seit 1951) der weltweit bekannte und geschätzte polyglotte Ägyptologe *Vsevolod I. Avdiev*, ein Mann alter Schule, dessen Lehrbuch, die veraltete 1. Ausgabe, ins Deutsche übersetzt worden war. Gleichfalls ins Deutsche (1953) – und andere Sprachen – übersetzt wurde die „Römische Geschichte" seines Vorgängers *Nikolaj A. Maškin*, ein internationales Standardwerk.

Das Verhältnis am Lehrstuhl zwischen Studenten, Aspiranten, Dozenten und Professoren war vertrauensvoll, freundschaftlich und von gegenseitigem Respekt getragen. Es gab ein reges wissenschaftliches Leben, bedingt durch die regelmäßigen Lehrstuhlsitzungen mit ihren obligatorischen Vorträgen und den Diskussionen darüber. Auch wir Studenten standen nicht abseits. So organisierten ein Kommilitone und ich im Rahmen der „Studentischen wissenschaftlichen Gesellschaft" ein Kolloquium zur wieder aktuell gewordenen Problematik der so genannten „asiatischen Produktionsweise". Dazu hatten wir einen namhaften Ägyptologen eingeladen. Wenige Tage nach dieser Veranstaltung nahm mich die Dozentin *Ol'ga I. Savostjanova* beiseite und riet mir, mich nicht weiter mit diesem Thema zu befassen. Das gleiche Gespräch hatte sie mit meinem Kommilitonen geführt, dem heute bekannten Professor für Schwarzmeer-archäologie und gleichzeitig Kulturwissenschaftler *Valerij P. Jajlenko*. Ich habe mich an ihren Rat gehalten und mich mit dieser Problematik, bis auf eine Rezension, nie ernsthaft beschäftigt. Bis heute bedaure ich meine Abstinenz nicht, denn das Gegenteil hätte nur Zeitverschwendung bedeutet. Viel später erfuhr ich, dass der Ehemann von *Savostjanova* in den 1920/1930er Jahren in die damalige Diskussion um die „asiatische Produktionsweise" involviert war und deshalb unter Repressalien gelitten hatte. Ihr Rat war also eine Warnung.

Mein Mentor und Doktorvater war der Ukrainer *Nikolaj N. Pikus*, der auf dem Gebiet des hellenistischen Ägyptens und seiner Ökonomie forschte. Er riet mir, da der Hellenismus in der DDR-Altertumswissenschaft ein relativ „freies" Forschungsfeld bildete, mich mit diesem Zeit-abschnitt zu befassen, und lenkte mein Interesse vor allem auf die politische Geschichte des Ptolemäerreiches hin. Bei der Arbeit an meiner Dissertation „Poleis im Staatsverband der Ptolemäer (3. Jh. vor unserer Zeitrechnung)" konnte ich, dank der Vermittlung von *Tamara M. Šepunova*, der engagierten Leiterin des Kabinetts Alte Geschichte, auch mit der Unterstützung von *Konstantin K. Zel'in* rechnen, der an der

Akademie der Wissenschaften der UdSSR arbeitete. *Zel'in* war einer der führenden sowjetischen Althistoriker. Die enge Beziehung zu ihm endete erst mit seinem Tode. Da *Pikus* sehr früh starb, entfiel leider jede Grundlage für eine weitere Zusammenarbeit mit ihm.

An der Historischen Fakultät der MGU konnte die Verteidigung einer Dissertation nur stattfinden, wenn zwei wissenschaftliche Arbeiten gedruckt und eine im Druck befindliche vorlagen (bei mir waren es vier Publikationen). Das Autorreferat wurde landesweit an alle Hochschulen verschickt, an denen es eine Historische Fakultät gab. Zwei Moskauer Stadtzeitungen zeigten Ort und Zeit der Verteidigung an.

Im September 1961 begann mein Studium in Moskau. Wochen später fand ich Aufnahme in der Moskauer Familie meines Freundes Gennadij, in deren Mitte ich im November erstmals die Revolutionsfeierlichkeiten erlebte. Ihr bin ich zu uneingeschränkter Dankbarkeit verpflichtet. Sie bot mir Wärme, förderte meine Russischkenntnisse, sorgte für mein mentales Wohlbefinden und ersetzte mir das eigene Elternhaus. Im Februar dieses Jahres ist der Patriarch der Familie *Foteev* hoch betagt in Toronto verstorben. Nizkij poklon ego svetloj pamjati.

Ich komme noch einmal auf die Frage der Parteizugehörigkeit zurück. Ende 1969 traten *Manfred Gielke*, bis zu seinem vorzeitigen Tode Mitarbeiter im Ministerium für das Hoch- und Fachschulwesen, und *Wolfgang König*, der damalige Direktor des Grassi-Museums in Leipzig, mit der Forderung an mich heran, Mitglied der SED zu werden. Auf meine Einwände hin kamen beide schnell und direkt zur Sache: „Wenn Du als Althistoriker ohne Parteizugehörigkeit zurück in die DDR kommst, wirst Du nichts zu lachen haben. Außerdem hast Du eine Ausländerin zur Frau". Sie sollten Recht behalten. Als ich zum 1. Mai 1970 meine Tätigkeit an der HUB aufnahm, war der Sturz tief. Aus einem hochgeschätzten Fach an der MGU ging es in Berlin hinab in die Nebensächlichkeit.

Der Bereich Alte Geschichte existierte nicht mehr. *Elisabeth Charlotte Welskopf* (Welskopf-Henrich als Schriftstellerin) hatte der Universität den Rücken gekehrt und ging ganz auf ihrem neuen Tätigkeitsfeld an der Akademie auf. Der junge, schnöselige Parteisekretär der Sektion erklärte mir bei der ersten Begegnung auf dem Korridor: „Man muss doch blöd sein, in Moskau Alte Geschichte zu studieren". Der Kollege *Detlef Lotze*, der dem „Neuen" in Berlin auf den Zahn fühlen wollte, kam mit süffisant deutscher Überheblichkeit, ein schmales Buch in der

Hand, mit den Worten auf mich zu: „Danach haben Sie wohl in Moskau Alte Geschichte gelehrt bekommen?“. Es handelte sich um eine Übersetzung aus der Großen Sowjet-Enzyklopädie oder eines Teilstückes aus einem historischen Grundkurs an der Moskauer Parteihochschule. Es gab nicht wenig Hohn und Spott. Die Beziehungen zu *Lotze* entspannten sich später. Den Gipfel bildete die ideologisch bedingte Weisung des Sektionsdirektors *Joachim Streisand*, ich solle die Alte Geschichte aufgeben und dafür Marxismus-Leninismus lehren, natürlich unter Aufsicht. Weil darüber an anderer Stelle ausführlich geschrieben worden ist, erspare ich mir weitere Kommentare.

Vorerst stand ich allein auf schmaler Flur. Zum Glück kam nach zwei Jahren die Indologin *Marlene Njammasch* als Unterstützung hinzu. Beide arbeiteten wir sehr gut zusammen, ebenso mit dem Assistenten *Bernhard Rink*.

Das Ruder riss unser verstorbenes Mitglied *Kurt Pätzold* herum, der als neuer Sektionsdirektor klare Aufgaben formulierte: volle Arbeitsfähigkeit des Bereiches (über die Bedienfunktion hinaus) wieder herstellen; Neubeginn mit der Ausbildung von Studenten, Lehrerstudenten einerseits und Spezialisierungsstudenten andererseits, für die ich aber die Absolventenlenkung zu übernehmen hatte. Das geschah, dank *Joachim Herrmann*, ohne Probleme, der sich auf diesem Wege den Institutsnachwuchs auf dem Gebiet der Alten Geschichte sicherte; schließlich Wiederöffnung zum Ausland hin.

Schon längere Zeit trug ich mich mit dem Gedanken, den Donaufeldzug *Alexanders des Großen* vom Jahre 335 vor unserer Zeitrechnung im Feldversuch nachzuvollziehen, wenigstens von der bulgarischen Grenze aus. Auf Grund des strengen Grenzregimes war das nicht möglich. Nachgewiesen werden sollte, ob die Angabe des antiken Historikers *Arrian* stimmte, dass *Alexander* mit seinen Truppen in neun Tagen vom Mittellauf des Nestos aus (in Bulgarien die Mesta) das zentrale Balkangebirge erreichte. Im September 1993 machte sich eine Gruppe von sechs Studenten, *Bernhard Rink* und mir auf den Weg. Als Marschleistung bis Plovdiv (270 km) waren pro Tag 30 km vorgesehen. Von dort bis zum Gebirge waren weitere drei Tage veranschlagt. Mit der geschätzten Marschleistung orientierten wir uns nicht am Menschen, sondern an den Pferden, die feste Ruhezeiten brauchten, um voll einsatzfähig zu bleiben. *Arrians* Zeitangabe war realistisch, was mit unseren Fußmärschen bewiesen wurde. Wie genau unsere Itinerare

waren, zeigte sich auf einem der Kammwege in den Rhodopen. Aus der bulgarischen Literatur wusste ich von 600 m einer Römerstraße aus dem 3./4. Jh. unserer Zeitrechnung. Sie zu finden, schien mir aussichtslos. Wie groß war die Überraschung, als wir nach dem Nachtlager in einer Berghütte auf eben diese „Straße" trafen. Auf ihr marschierten wir den ganzen Tag über (heute ist sie in Gänze erforscht).

Mit jedem Jahr des Alterns merkt man, rückblickend, dass vieles im Leben nicht oder nicht immer nach Plan lief, sondern Zufälle eine große, mitunter maßgebende Rolle spielten, ja zur lebensgeschichtlichen Normalität wurden. So war es der Fall, als ich 1986, die Humboldt-Universität zu Berlin und die Kapodistrias-Universität zu Athen hatten kürzlich einen bilateralen Vertrag unterzeichnet, im griechischen Nauplion *Georgios Styl. Korrés* traf (MLS 1997). Dort fand die entscheidende Zündung für alle meine nachfolgenden Schliemannstudien statt. Bis dahin lag mir der Ausgräber Troias ziemlich fern. Zwischen uns beiden entspann sich eine erfolgreiche wissenschaftliche Zusammenarbeit, aus der eine bis heute dauernde Freundschaft erwuchs. Nicht anders verhielt es sich, als ich im September 1970 auf dem Boden des Ankershagener Pfarrhauses, dem Heinrich-Schliemann-Museum, mit *Klaus Goldmann*, Oberkustos am Museum für Ur- und Frühgeschichte in Berlin-Charlottenburg, ins Gespräch kam. Er war seit langem dem verschollenen „Schatz des Priamos" auf der Spur. Anders als er damals, vermutete ich den „Schatz" (Goldfund A) in Moskau und bot ihm als Russlandkenner meine Hilfe an, die er sehr bald in Anspruch nahm. So wurde ich auf direkte Weise in die Suche nach dem „Troianischen Gold" einbezogen. Übrigens war meine Vermutung richtig. Auch aus dieser Begegnung wurde eine lebenslange Freundschaft.

Schließlich sei der letzten Sternstunde meines Lebens gedacht, der Zuwahl in die Reihen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften. Die Zugehörigkeit zu ihr war ein großer Gewinn für mich. Vielerlei habe ich ihr zu verdanken: die Repräsentation der eigenen Forschungen, Publikationsmöglichkeiten, ein ständiges Hinzulernen dank dem interdisziplinären Charakter der Sozietät und der häufigen, teils sehr kritischen Disputationen. Gern habe ich mich in ihre organisatorische Arbeit eingebracht.

Übrig bleibt mir noch, mich beim Präsidium der Sozietät für die Organisation des heutigen Ehrenkolloquiums zu bedanken, insbesondere bei unserer Präsidentin, Frau Prof. *Gerda Haßler*, und bei Herrn

Prof. *Gerhard Pfaff*, der die Ehrungen vorbereitete. Zu großem Dank bin ich meinem Laudator, Herrn Prof. *Gerhard Banse*, verpflichtet, ebenso meinem Kollegen und Freund Herrn Prof. *Andreas Schwarcz*, der extra aus Wien anreiste, um mich mit seinem Vortrag zu würdigen. Ihm und seiner Frau gegenüber plagen mich sogar Schuldgefühle, mussten sie doch – angesichts von Corona – auf ihrem Wege hierher enorme hygienisch-bürokratische Hürden überwinden. Zuletzt sei meiner Frau gedankt. In Kürze werden es 55 Jahre sein, die sie mich in meinem wissenschaftlichen Werdegang begleitete, mir oft den Rücken freihielt, mich, wenn ich niedergeschlagen und mutlos war, wieder aufrichtete und, kurz gesagt, mir immer zur Seite stand, trotz meiner Launen und meiner Oberlausitzer Hartköpfigkeit.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 79–83*

Laudatio für Professor Dr. Werner Kriesel (*1941)

Tilo Heimbold
(Leipzig)

Prof. Dr. *Werner Kriesel* wurde am 28. März 1941 in Westpreußen als Sohn einer Bauernfamilie geboren. Sein Vater war kurz vor Kriegsende gefallen. Die Vertreibung der Familie führte ihn im Jahre 1946 über Berlin nach Sachsen-Anhalt. Von 1947 bis 1955 besuchte *Werner Kriesel* die Grundschule in Alsleben und im Anschluss die Oberschule in Bernburg (Saale). Das Abitur erlangte er 1959. Danach folgte das Studium von Maschinenbau und Elektrotechnik an der Hochschule für Schwermaschinenbau sowie der TH Magdeburg. Seinen Abschluss als Dipl.-Ing. für Regelungstechnik Anfang 1965 erlangte er bei den akademischen Lehrern *Heinrich Wilhelmi (1906–2005), Heinz Töpfer* (1930–2009), *Siegfried Pilz* (1931–2004), *Christian Döschner* (*1936) sowie *Herbert Ehrlich* (1932–2019), der seine Diplomarbeit zu Baueinheiten der Regelungstechnik betreute. *Werner Kriesel* wurde für das beste Studienergebnis mit dem „Fakultätspreis Elektrotechnik" ausgezeichnet.

Seine anschließende Ingenieurtätigkeit begann er in Berlin am Institut für Regelungstechnik (IfR). Aus dem IfR entstand in den 1970er Jahren das Zentrum für Forschung und Technologie (ZFT) des Kombinats Elektro-Apparate-Werke (EAW) Berlin-Treptow. Hier war *Werner Kriesel* für 7 Jahre als Entwicklungsingenieur und Abteilungsleiter tätig. In dieser Zeit wurde gerade das System „ursamat" als universelle Familie von Geräten und Einrichtungen zur Gewinnung, Übertragung, Verarbeitung und Nutzung von Informationen für die Automatisierung technologischer Prozesse entworfen und entwickelt. Hierdurch ist er in ein industriebezogenes Systemdenken hineingewachsen, von dem er

lebenslang profitierte.

Zu seinen Aufgaben gehörten 1969 die Steuerungen in allen Messwarten des neu errichteten Erdölverarbeitungswerks Schwedt/Oder sowie die Entwicklung der Prozess-Ausgabeperipherie „URSADAT 4000“ für Prozessrechner als Systemlösung mit Kommunikation über ein paralleles Bussystem. Dass die industrielle Kommunikationstechnik sich zu seinem Arbeitsschwerpunkt für die folgenden 50 Jahre entwickeln würde, konnte er sich im Alter von 30 Jahren nicht entfernt vorstellen. Diese Jahre in der Industrie erwiesen sich als nachhaltig prägend für seine Profilierung auf dem Gebiet „Automatisierungsgeräte und -anlagen“.

Ab dem Wintersemester 1971 folgte *Werner Kriesel* einer Berufung als Hochschuldozent für Regelungstechnik an die TH Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozesssteuerungen. Er widmete sich hier dem Aufbau des Fachgebiets „Automatisierungsgeräte und -anlagen“ zu einem eigenständigen Lehr- und Forschungsgegenstand und entwickelte dazu auch neue Fachbücher in enger Zusammenarbeit mit dem damaligen Sektionsdirektor sowie späteren Leiter des Wissenschaftsbereiches und WGMA-Vorsitzenden Prof. Dr. *Heinz Töpfer*.

1979 wurde *Werner Kriesel* als ordentlicher Professor für Automatisierungstechnik an die TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen berufen. Hier übernahm er den Aufbau und die Leitung eines neuen Wissenschaftsbereiches Automatisierungssysteme. Von 1981 bis 1990 war er zugleich als Stellvertretender Sektionsdirektor für Forschung tätig. Weiterhin wurde er Mitglied des Sektionsrates sowie der Fakultät Technik- und Naturwissenschaften und des Senats der TH Leipzig.

Die Forschungen in seinem neuen Wissenschaftsbereich bezogen sich auf den Vorlauf für Automatisierungsanlagen, insbesondere für neuartige Kommunikationssysteme der Automatisierungstechnik. Hierbei wurde er durch seine Oberassistenten *Peter Gibas* und nachfolgend *Klaus Kabitzsch* (*1953) unterstützt, der später als Professor für Technische Informationssysteme an die TU Dresden berufen wurde. Mit seinen Forschungsteams widmete sich *Werner Kriesel* mit der ihm eigenen Durchsetzungskraft und seinem Langzeitdenken in den nachfolgenden Jahrzehnten speziell der industriellen Kommunikation, er wurde zu einem der Pioniere auf diesem innovativen Gebiet.

Als Student der Matrikel 84 lernte ich Prof. *Werner Kriesel* in dieser

Zeit kennen und war begeistert von seinen Vorlesungen. 1985 gelang es mir, bei ihm eine Hilfsassistentenstelle zu bekommen. Ich hatte somit die Möglichkeit, tiefer in das Gebiet der industriellen Datenkommunikation einzusteigen. Seit dieser Zeit arbeite auch ich an diesem Thema.

Nach der Wiedervereinigung wurde *Werner Kriesel* als Direktor des neu gegründeten Instituts für Automatisierungssysteme (IfAS) gewählt, das zum Fachbereich Elektrotechnik gehörte. In dieser Zeit begann er auch mit der Drittmittelforschung.

Kaum war die Berliner Mauer gegen Ende 1989 gefallen, stellte er unzählige Firmenkontakte her und ermöglichte uns Reisen zu Messen und Tagungen noch vor der offiziellen Wiedervereinigung vor nunmehr 31 Jahren. Ich erinnere mich noch an Fahrten nach Passau, Esslingen, Karlsruhe, Hamburg und Berlin (W.), um unsere Forschungsarbeiten zu präsentieren.

Mehr als 30 Verbundprojekte mit industriellen Forschungspartnern wurden im Laufe der Jahre bearbeitet. Erfolgreichstes Drittmittel-Forschungsprojekt war das „Aktuator-Sensor-Interface (ASi)" im Zeitraum 1991–1994. Ziel war die Entwicklung eines Low-cost-Bussystems für die Vernetzung von Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPSen) mit der Vielzahl von Sensoren und Aktuatoren.

1994 erfolgte die Markteinführung des Systems und seine internationale Normung (Europa-Norm; IEC-Norm). Mit mehr als 40 Millionen Busknoten entwickelte es sich in seiner Klasse zum Weltmarktführer. Bisher wurden weltweit über 150 Millionen Sensoren und Aktuatoren in etwa 150.000 automatisierten technologischen Anlagen mit diesem System vernetzt. Zur internationalen Nutzerorganisation „AS-International Association" gehören etwa 300 Firmen in 14 Ländern. Das Forschungsteam von *Werner Kriesel* übernahm die Zertifizierungsprüfungen unter Verantwortung des Fachspezialisten Dipl.-Ing. *Dietmar Telschow*. Seit 1995 arbeitet *Werner Kriesel* auf diesem Gebiet auch im Forschungs- und Transferzentrum Leipzig.

In den Jahren 1995 bis 2006 war *Werner Kriesel* maßgeblich am Aufbau des Fachgebiets Automatisierungstechnik an der Hochschule Merseburg im Fachbereich Elektrotechnik, Informationstechnik und Medien beteiligt. Zu den von ihm vertretenen Fächern gehörte wiederum die Industrielle Kommunikationstechnik. Als Nachfolger wurde hier nach bundesweiter Ausschreibung sein akademischer Schüler *Peter Helm* berufen.

Seit seinem Eintritt in den Ruhestand 2006 hat sich *Werner Kriesel* zusammen mit *Dietmar Telschow* und *Tilo Heimbold* in einem Forschungsteam speziell mit Vorlaufarbeiten für eine nächste Generation des Kommunikationssystems ASi befasst. Hierzu wurden mehrere Verbundforschungen durchgeführt und die Forschungskooperation mit verschiedensten Lehrstühlen bundesweit initiiert. Zusammen mit innovationsstarken Industriepartnern aus der „AS-International Association" wurde die neue Generation „ASi-5" als Systemlösung entwickelt und seit 2018 schrittweise auf Industriemessen vorgestellt Sie erweitert durch einen innovativen Prinzipienwechsel die Leistungsparameter der Vorgängergeneration ASi-3 erheblich und gestattet zugleich eine Koexistenz zwischen den beiden Generationen.

Auch die Mitarbeit von *Werner Kriesel* in wissenschaftlichen Gremien und Gesellschaften war sehr umfangreich. Von 1974 bis 1990 war er berufenes Mitglied und Sekretär des Zentralen Arbeitskreises (ZAK) „Steuerungs- und Regelungstechnik" (Vorsitzender: *Heinz Töpfer*, Magdeburg/Dresden) beim Forschungsrat der DDR im Ministerium für Wissenschaft und Technik (MWT). Im Mai 1990 wurde er vom letzten DDR-Ministerpräsidenten *Lothar de Maizière* zum Mitglied des Forschungsrates berufen. In den Jahren 1981 bis 1990 gehörte er dem Bezirksvorstand Leipzig der Kammer der Technik (KDT) an und wurde 1983 in das Präsidium der Kammer der Technik in Berlin gewählt. Im Zeitraum 1994 bis 2001 wirkte *Werner Kriesel* im Vorstand der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) in Düsseldorf/Frankfurt a. M.

Werner Kriesel interessiert sich vom Beginn seiner beruflichen Tätigkeit an auch für die Geschichte der Mess- und Automatisierungstechnik. So entstand hierzu 1995 eine Buchpublikation gemeinsam mit Dr. *Hans Rohr* und Dipl.-Ing. *Andreas Koch* beim VDI-Verlag Düsseldorf. 1996 wurde er zum Mitbegründer des Automatik-Museums in Leipzig in der Alten Nikolai-Schule, zu Ehren ihres berühmten Schülers auch „Leibniz-Schule" genannt.

Mit Eintritt in seinen Ruhestand hat *Werner Kriesel* begonnen, weitere Beiträge zur Geschichte seines Fachgebietes zu erstellen. Seit 2009 entwickelte er mehr als 200 Wikipedia-Artikel. Ergänzend hat er vorhandene Artikel zu Hunderten bearbeitet und systematisch verlinkt. Somit hat *Werner Kriesel* unsere fachspezifische Erinnerungskultur auf eine neue Ebene gehoben und damit Vieles dauerhaft vor dem historischen

Vergessen bewahrt. Er arbeitet hierbei nicht nur zielstrebig und intensiv, sondern auch leidenschaftlich, selbstlos, kontinuierlich und mit der ihm eigenen Systematik an der Weiterführung dieses Projektes zum Nutzen der Community. Besonders profitiert hat davon auch die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, als deren Mitglied er im Jahre 2013 zugewählt wurde.

Werner Kriesel gilt unumwunden als Mitbegründer und einer der Pioniere des eigenständigen Fachgebiets „Industrielle Kommunikation für die Automation" in angewandter Forschung und akademischer Lehre. Die Liste seiner wissenschaftlichen Publikationstätigkeit umfasst mehr als 200 Veröffentlichungen, davon über 30 Fachbücher zu Automatisierungs- und Kommunikationssystemen mit bis zu 7 Auflagen.

Lieber Herr Professor *Kriesel*, zu Ihrem 80. Geburtstag gratulieren wir Ihnen ganz herzlich, auch im Namen Ihrer ehemaligen Studierenden und akademischen Schüler sowie Ihrer Kollegen, Projektpartner, Wegbegleiter und Freunde. Wir verbinden dies mit vielen guten Wünschen für Ihre Gesundheit sowie für ein weiterhin glückliches Leben in Ihrem Familienkreis. Mögen Ihre reichen Erfahrungen uns noch lange zur Verfügung stehen. Alles Gute für Sie!

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 85–121*

Ein Meilenstein der Automatik / Informatik: Industrielle Kommunikation auf der Sensor-Aktuator-Ebene

Tilo Heimbold, Dietmar Telschow, Dirk Lippik
(Leipzig)

Abstract
The specific communication technology for industrial automation systems reached the international market since the 1975s, based on the networks WAN as well as LAN of computer science. Since 1985, special communication systems for industrial automation were understood and developed as independently effective structures at the chair of Werner Kriesel in Leipzig, later classified as multi-level system Field Area Network FAN below the WAN / LAN levels. In the following, selected technical development stages of automation / informatics are presented. Starting with the development of the first (single-chip) microprocessors in the 1970s and the realization of programmable logic controllers, this also led to the development of local area networks. As a result, an independent industrial communication with multi-level structure for automation was required. Industrial examples, starting with the automation system TDC 2000 (Honeywell, USA) via PROFIBUS/PROFINET and the direct co-development of the fieldbus system AS-Interface, are used to present the new possibilities of networked and distributed intelligence. Intrinsic functions, monitoring, diagnosis, therapy control with adaptive algorithms, and artificial intelligence thus lead to a paradigm shift in Industry 4.0 applications. In numerous (book) publications, the results of the basic research up to the implementation in industrial applications have been published. In 40 years of work by the Kriesel team, a milestone of industrial communication in practical research and academic teaching was created, which together with industry reached worldwide mass use and broad application and currently is entering the market as the 2nd generation AS-Interface.

Resümee
Die spezifische Kommunikationstechnik für industrielle Automatisierungssys-teme gelangte seit den 1975er Jahren auf den internationalen Markt, basierend auf den Netzwerken WAN sowie LAN der Informatik. Seit 1985 wurden am Lehrstuhl von Werner Kriesel in Leipzig spezielle Kommunikationssysteme für die Industrieautomation als eigenständig wirksame Strukturen verstanden und entwickelt, später als Mehrebenen-System *Field Area Network FAN* einge-ordnet unterhalb der WAN / LAN-Ebenen. Nachfolgend werden ausgewählte technische Entwicklungsetappen der Automatik / Informatik dargestellt. Aus-gehend von der Entwicklung erster (Einchip-) Mikroprozessoren in den 1970er Jahren und damit realisierbarer Speicherprogrammierbarer Steuerungen führte dies auch zur Entwicklung lokaler Netzwerke. Resultierend bedingte dies eine eigenständige Industriekommunikation mit Mehrebenen-Struktur für die Automation. An industriellen Beispielen, beginnend beim Automatisie-rungssystem TDC 2000 (Fa. Honeywell, USA) über PROFIBUS/PROFINET und der direkten Mitentwicklung des Feldbussystems AS-Interface werden die neuen Möglichkeiten vernetzter und verteilter Intelligenz präsentiert. Eigen-funktionen, Überwachung, Diagnose und Therapiesteuerung mit adaptiven Algorithmen sowie Künstliche Intelligenz führen so zu einem Paradigmen-wechsel bei Industrie 4.0-Anwendungen. In zahlreichen (Buch-) Publikationen wurden die Ergebnisse der Grundlagenforschungen bis zur Umsetzung in industriellen Anwendungen veröffentlicht. In 40-jähriger Arbeit des Teams Kriesel wurde ein Meilenstein der Industriekommunikation in praxisnaher Forschung und akademischer Lehre geschaffen, der zusammen mit der Indust-rie weltweiten Masseneinsatz und Breitenanwendung erreichte und gegenwär-tig als AS-Interface der 2. Generation auf den Markt gelangt.

Keywords/Schlüsselwörter
Automation, information technology, industrial communication, sensor-actuator level, multi-level communication networks, bus systems, fieldbus systems, artificial intelligence
Automatik, Informatik, industrielle Kommunikation, Sensor-Aktuator-Ebene, Mehrebenen-Kommunikationsnetze, Bussysteme, Feldbussysteme, Künstliche Intelligenz

1 Technische Entwicklungsetappen der Automatik / Informatik

In den 1960er Jahren dominierte die konventionelle Regelungstechnik mit „dummer Peripherie“, sprich ohne eigene Vorverarbeitung der Daten. Mit der Entwicklung von Mikroprozessoren in den 1970er Jahren wurden Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPSen) realisierbar,

die Steuerungstechnik hatte deutlich an Bedeutung gewonnen und löste schließlich die Dominanz der Regelungstechnik in der Automatisierung ab (vgl. Kabitzsch 1987). Steuerungen existierten nun sowohl als offene als auch geschlossene Steuerungsketten. Es entwickelte sich eine „intelligente Peripherie" für die Automatisierungstechnik.

Ab 1980 haben Lokale Netze (Local Area Networks) der Informatik die Automatisierung herausgefordert und schließlich zur Bildung einer eigenständigen Industrie-Kommunikation für die Automation und die Entwicklung eigenständiger Feldbussysteme und Mehrebenen-Strukturen (Field Area Networks FAN) geführt (vgl. Kriesel 1988).

Vom Management bis zur untersten Feldebene übernehmen diverse Bussysteme die unterschiedlichen Kommunikationsaufgaben sowohl in der Fertigungsautomatisierung als auch in der Prozessautomatisierung (Abbildung 1).

Die in den 1990er Jahren in Diskussion befindlichen Entwürfe eines internationalen IEC-Busses wurden trotz intensiver Arbeit durch die International Electrotechnical Commission (IEC) abgelehnt, sodass sich komplexe Technologien wie CAN, Interbus, PROFIBUS, World-FIP u. a. im Markt und in der Praxis stärker durchsetzten und schließlich der Markt über die Auswahl entscheiden sollte.

Mitte 1998 waren ca. zwei Mio. PROFIBUS-Geräte in mehr als 200.000 Anwendungen weltweit im Einsatz. Derzeit sind etwa 1600 Produkte von 200 Mitgliedsfirmen der PROFIBUS-Nutzerorganisation (PNO) verfügbar. Diese etablierten Bussysteme gewannen zunehmend an Boden, wurden Quasi-Standards durch Erlangung einer Europa-Norm und waren somit nicht mehr zu übergehen.

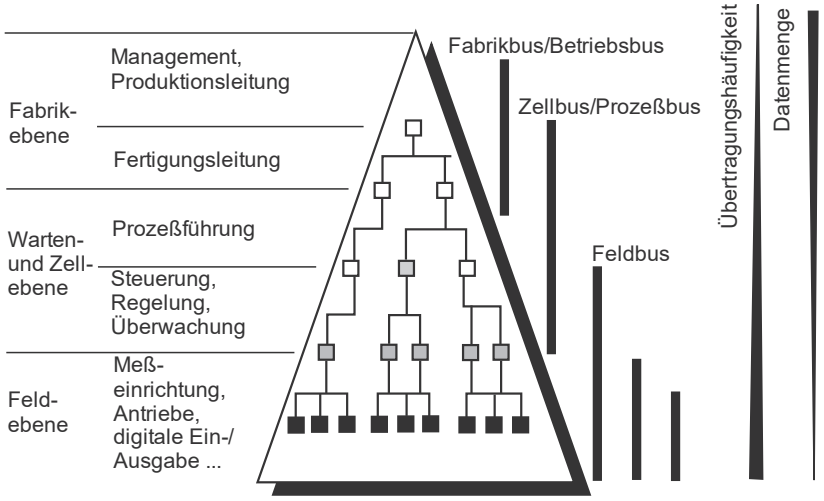


Abb. 1: Mehrebenen-Kommunikationsstruktur (vgl. Kriesel/Heimbold/Telschow 2000).

Die fortschreitende Digitalisierung bewirkte insbesondere durch die Verfügbarkeit von Einchip-Mikrocontrollern die Entwicklung neuartiger Gerätegenerationen mit direkt dezentral verteilter und vernetzbarer Intelligenz in Mess- und Stelleinrichtungen durch digitale Kommunikationstechnologien (embedded systems). Intelligente Feldgeräte entlasteten die zentrale Steuerung und auch den Feldbus, einerseits, weil Daten bereits in der Peripherie verdichtet werden; andererseits, weil der Datenverkehr auf dem Feldbus reduziert wird. Die zentrale Steuerung stand nun für andere Aufgaben zur Verfügung, beispielsweise zur Koordination und Überwachung des Datentransfers.

Feldbusse stellen die erforderliche Kommunikation für die Peripheriegeräte untereinander sicher, zugleich wird die Kommunikation dieser Geräte mit der übergeordneten Steuerungstechnik ermöglicht. Sie bilden die unterste Ebene der Topologie einer Anlagensteuerung und sind nicht zu verwechseln mit den überlagerten Zell- und Prozessbussen, für deren Aufgaben Feldbusse weder konzipiert wurden noch geeignet sind.

Die zunehmende Komplexität von Feldgeräten, die sich aus den fortwährend steigenden Anforderungen an Sensoren und Aktuatoren mit dem Ziel universeller, hoch verfügbarer Anlagen ergibt, erfordert

zunehmend intelligente, dezentrale Applikationskomponenten. Spezielle Aufgaben, die früher von übergeordneten Steuerungen wahrgenommen wurden, werden zunehmend dezentralisiert und im Feld von intelligenten Baugruppen abgearbeitet (vgl. Kriesel 1995a). Die Kommunikation der Komponenten untereinander war mit konventioneller Verkabelung aufgrund des hohen Aufwandes nicht mehr vertretbar, sodass den heutigen Anforderungen ohne geeignete Feldbusse nicht mehr entsprochen werden konnte. Wirtschaftlich automatisieren heißt heute vernetzen, durchgehend in allen Ebenen mit spezifisch auf die Anforderungen zugeschnittenen Bussystemen (vgl. Kriesel 1995b; Kriesel/Sokollik/Helm/Seela 2009).

Mit Hilfe dieser Technologien wurden neue Möglichkeiten im Anlagenbetrieb verfügbar – Eigenfunktionen zur (System-)Überwachung, der (Eigen-)Diagnose in den verteilten Komponenten bis hin zu adaptiven Therapiesteuerungen zur Optimierung des Systemverhaltens (vgl. Kriesel 2016).

Aktuell gewinnt auch die Künstliche Intelligenz zunehmend an Bedeutung durch Integrationsmöglichkeiten mathematisch anspruchsvoller Algorithmen. Dezentral verfügbare leistungsfähige Controller, Speicherkapazitäten und eine Vielzahl direkt verfügbarer Anlageninformationen aus dem laufenden Betrieb bilden die Voraussetzung für die Anwendung der Methoden des Deep Learning.

Somit sind die wesentlichen Voraussetzungen für den Paradigmenwechsel durch die gestiegenen Anforderungen von Industrie 4.0 geschaffen worden.

2 Mehrebenen-Kommunikationsnetze

Bezugnehmend auf die Abb. 1 verwenden die Fabrik- und Wartenebene dominierend Bussysteme der Informatik unter weitgehenden Laborbedingungen. Die unterlagerte Feldebene hingegen muss den rauen Industrie-Umgebungsbedingungen entsprechen. Das betrifft sowohl die Integrationsmöglichkeit in vorhandenen Lösungen als auch die sichere Funktion in erweiterten Temperaturbereichen, unter elektromagnetischen Störungen (EMV), in explosionsgefährdeten Umgebungen sowie Anwendungsparametern wie Realzeitanforderungen, hohe Zuverlässigkeit bis hin zu Ausfallstrategien im Fehlerfall.

Weiterhin sind der Umfang und die Häufigkeit sowie die Art der Daten zwischen den Kommunikationsebenen unterschiedlich. Werden in der Feldebene viele Daten mit kleiner Datenbreite sehr häufig übertragen, sind diese durch verdichtende Algorithmen der Steuerung und Regelung in den höheren Ebenen umgekehrt durch eine geringere Übertragungsrate, jedoch deutlich höhere Datenbreite gekennzeichnet. In der Feldebene fallen neben den Prozessrohdaten (1…<8 Bit…<10 Byte) von einfachen digitalen Sensoren bis zu komplexeren Antriebssteuerungen auch ggf. Datenblöcke von einigen 10 Byte an. Diese sind jedoch keinesfalls mit den großen Datenmengen in Bereich der höheren Ebenen zu verwechseln.

In der Praxis sind weiterhin Fragen hinsichtlich der Offenheit des verwendeten Systems – also welche internationale Standards werden verwendet –, als auch der Wirtschaftlichkeit bzgl. der Anschlusskosten der einzelnen Teilnehmer und die Gesamtkosten der Lösung in Relation zur geforderten Leistung entscheidend. Die Wirtschaftlichkeit flexibler Fertigungsanlagen wird immer weniger durch den Preis der Einzelkomponenten bestimmt, als vielmehr durch das mehr oder weniger perfekte Zusammenspiel der unterschiedlichen Automatisierungskomponenten. Bei optimaler Abstimmung aller Komponenten reduzieren sich die Schnittstellenzahl und somit die Kosten bei der Erstellung sowie beim Betrieb der Anlage erheblich (Heimbold 2015).

Dezentralisierung der Intelligenz führt zur objektorientierten Automatisierung: autarke, modulare und intelligente Einheiten werden in einem Kommunikationsverbund integriert (vgl. Kriesel 1995a; Schmertosch/Krabbes 2018).

Die Durchgängigkeit in der Kommunikation wurde zu einer wichtigen Voraussetzung für eine durchgängige Projektierung über verschiedene Gerätefamilien hinweg. Bisher wurden insbesondere Antriebe vor Ort an jedem Gerät über ein Bedienfeld und spezielle Tools parametriert, in Betrieb gesetzt und im Störungsfall der Service durchgeführt. Heute können diese Funktionen über alle Ebenen bis in den Feldbereich über das Bussystem erledigt werden – selbst eine Neukonfigurierung, wie z. B. Änderung von Motordaten des Antriebes im Servicefall bzw. Kennlinienveränderungen in der Sensorik, stellen kein Problem mehr dar.

Der Trend zur Dezentralisierung der Intelligenz hat sich verstärkt fortgesetzt – Stichworte sind hier u. a. Fernwartung über das Internet.

3 Standardisierte Bussysteme für die Warten-/Zellebene

Ein erstes Automatisierungssystem auf der Grundlage eines Bussystems, welches sich von der bisher verwendeten Anlagentechnik grundlegend unterschied, war das System TDC 2000 der amerikanischen Firma Honeywell, das 1975 auf den Markt gelangte (vgl. Kriesel 1995a).

Der konventionelle Wartenbereich mit der üblichen Vielzahl von Anzeigen und Reglern wurde mit diesem System erstmals in Bildschirmarbeitsplätze verwandelt (Abbildung 2).

Weiterhin erfolgte die Verteilung der Intelligenz, wie Regelungen, Mehrgrößenregelungen (vgl. Korn/Jumar 1991), Adaptive Regelungen (vgl. Schulze/Rehberg 1988), Steuerungen, aus der Warte mit dem Process Control Minicomputer in die Anlagenperipherie als Extended Units. Aufgrund der Mikroprozessoren, die Honeywell damals in die Basic Controller einbauen konnte, erfolgte zusätzlich alle 1/3 Sekunde eine erstmals in das Systemkonzept integrierte interne Selbstdiagnostik. Diese Diagnoseprüfung erkannte Fehlfunktionen und zeigte dem Bediener im Kontrollraum die Art und Lage der Fehler.

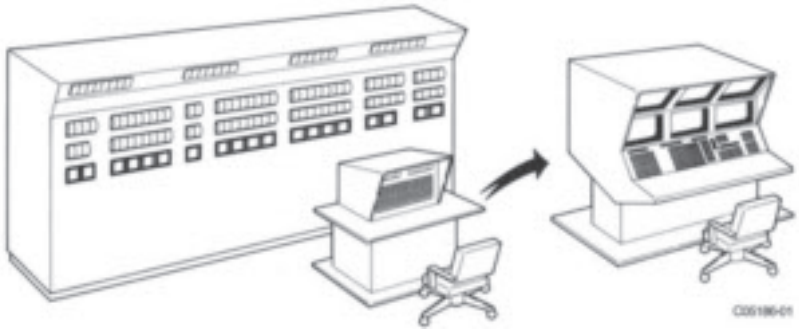


Abb. 2: Automatisierungssystem TDC 2000 – Ablösung konventioneller Bedientechnik durch Bildschirmarbeitsplätze (Quelle: sciencedirect.com).

Die Kommunikation zwischen allen Komponenten erfolgte über ein Bussystem, einen sog. Data Highway in Form eines Koaxialkabels, das doppelt ausgelegt war (Abbildung 3). Alle Nachrichten bestanden aus 31-Bit-Befehlen oder Daten-Worte bei einer Bitrate von 250 kHz. Dies erlaubte eine Transaktionsrate von ungefähr 2500 pro Sekunde.

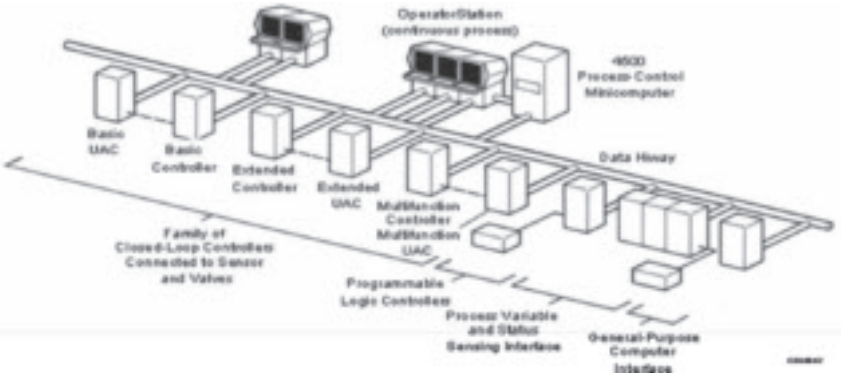


Abb. 3: TDC 2000 – verteilte Intelligenz über Data Highway (Quelle: sciencedirect.com).

Die in Deutschland vergleichbare industrielle Busentwicklung von PROFIBUS wurde als Multimastersystem in Linienstruktur mit Abschlusswiderständen an beiden Leitungsenden konzipiert und in verschiedenen abgestimmten Varianten (PROFIBUS-FMS, -DP, -PA) für den Einsatzbereich am Markt etabliert (vgl. Kriesel 1995b; Kriesel/Heimbold/Telschow 2000). Mittels eines logischen Token-Rings koordinierten mehrere Master ihre Zugriffsrechte auf die Slaves durch Weitergabe des Token nach einer konfigurierbaren Haltezeit untereinander (Abbildung 4). Für die Kommunikation zwischen Master und Slaves wurde das zyklische Polling-Verfahren verwendet – also ein serielles Zugriffsverfahren des Masters auf alle Slaves. Dabei kann der Master auch Prioritätsebenen von hochpriorisierten Nachrichten abarbeiten, gefolgt vom zyklischen Datenaustausch und niederproirisierten azyklischen Diensten.

Die Buskommunikation zwischen Master und Slaves erfolgte anhand des Standards RS 485 aus der Informatik. Dies verlangte eine geschirmte, verdrillte 2-Draht-Busleitung unter Verwendung einer Anschlusstechnik mittels konventioneller SUB-D-Stecker aus der PC-Welt (vgl. Kriesel/Heimbold/Telschow 2000). In jedem dieser Stecker war die Konfigurierungsmöglichkeit des Busabschlusswiderstandes zur Unterdrückung von Signalreflexionen gegeben (Abbildung 5). Mehrfach im Gesamtsystem in Steckern aktivierte Busabschlusswiderstände führen jedoch in der Praxis zu Kommunikationsproblemen und verur-

sachten dadurch oft einen hohen Diagnose- und Wartungsaufwand in der Anlage.

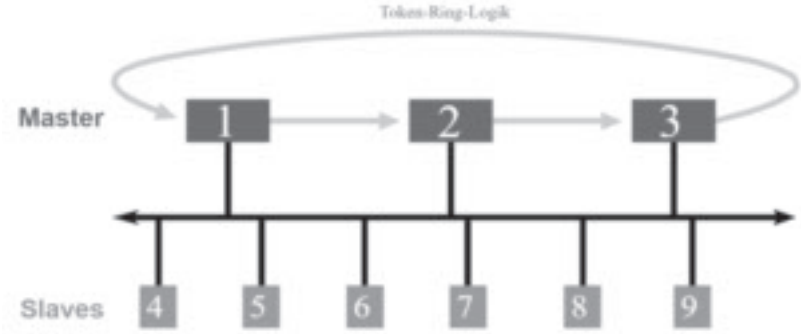


Abb. 4: Systemstruktur PROFIBUS als Multimaster-System (Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Profibus).

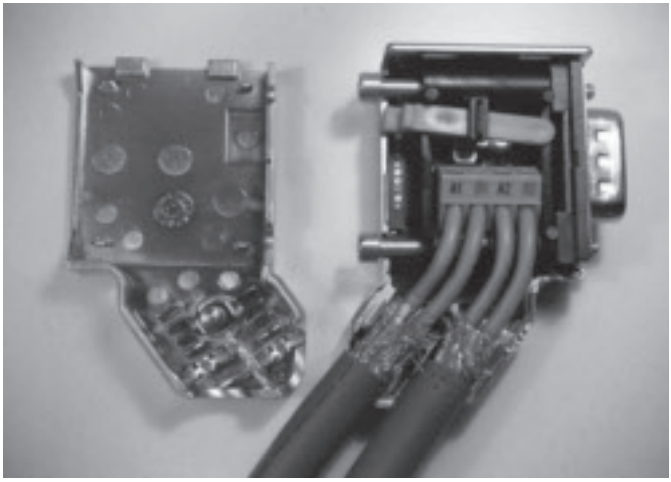


Abb. 5: PROFIBUS – Busstecker für alle Teilnehmer mit schaltbarem Busabschlusswiderstand (Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Profibus).

Die immer kürzer werdenden Innovationszyklen bei neuen Produkten bedingen einen kontinuierlichen Wandel der Automatisierungstechnik. Der Einsatz der Feldbustechnologie stellte in den vergangenen Jahren hierbei eine wesentliche Neuerung dar. Sie ermöglichte die Migration von zentralen zu dezentralen Automatisierungssystemen.

Die Weiterentwicklung von PROFIBUS führte zu PROFINET, welches als Bussystem nun Ethernet aus der Informatikwelt verwendet.

In der Automatisierungstechnik von heute bestimmen Ethernet und die Informationstechnologie (IT) mit den etablierten Standards, wie z. B. TCP/IP und XML, zunehmend das Geschehen. Die Integration der Informationstechnik in die Automatisierung eröffnet deutlich verbesserte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Automatisierungssystemen, weitreichende Konfigurations- und Diagnosemöglichkeiten und netzweite Servicefunktionen. Diese Funktionen waren von Beginn an feste Bestandteile von PROFINET.

PROFINET ist der innovative und offene Standard für Industrial Ethernet. PROFINET deckt alle Anforderungen der Automatisierungstechnik in der oberen Kommunikationsebene ab. Abbildung 6 zeigt hierzu eine mögliche Systemstruktur. PROFINET ist in den internationalen Normen IEC 61158 und IEC 61784 standardisiert.

Die Grundfunktionen umfassen den zyklischen Austausch von Input/Output (I/O)-Daten mit Real-Time-Eigenschaften, den azyklischen Datenverkehr zum Lesen und Schreiben von bedarfsorientierten Daten (Parameter, Diagnose) inklusive der Identification & Maintenance-Funktionen (I&M) zum Auslesen von Geräteinformationen und ein flexibles Alarmmodell zur Signalisierung von Geräte- und Netzwerkfehlern mit drei Alarmstufen (Wartungsanforderung, dringende Wartungsanforderung und Diagnose).

Der Anschluss der PROFINET-I/O-Feldgeräte erfolgt ausschließlich über Switches als Netzwerk-Komponenten, die typischerweise mit im Feldgerät integriert sind. PROFINET-taugliche Switches müssen das Aushandeln der Übertragungsparameter und das selbständige Kreuzen der Sende- und Empfangsleitung unterstützen. Dadurch kann die Kommunikation selbständig aufgebaut werden, und die Konfektionierung der Übertragungskabel ist einheitlich. PROFINET unterstützt für die Ethernet-Kommunikation die Linientopologie, die vorrangig Endgeräten mit integrierten Switchen im Feld verbindet, die Sterntopologie, die einen zentralen Switch voraussetzt, der sich vorrangig im Schaltschrank befindet, die Ringtopologie, in der eine Line für die Erreichung der Medienredundanz zu einem Ring geschlossen wird sowie eine Baumtopologie als Mischung der genannten Topologien.

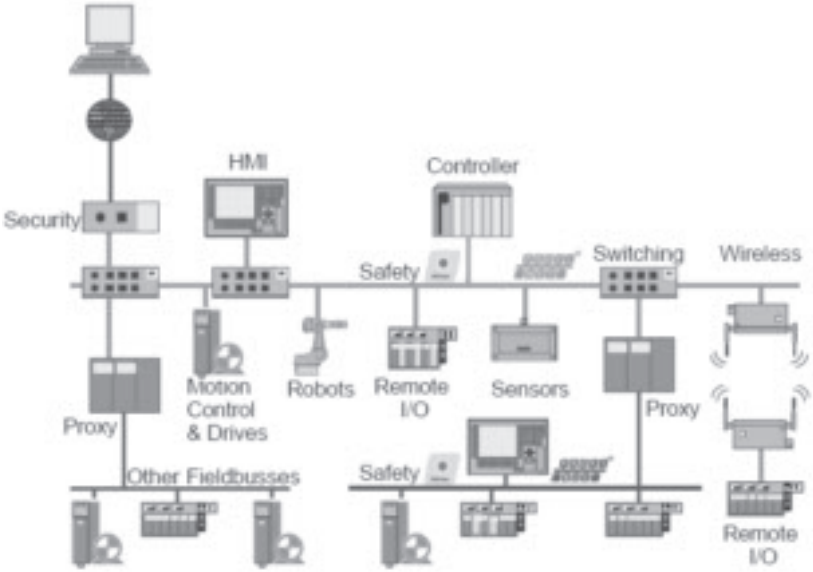


Abb. 6: Systemstruktur PROFINET
(Quelle: https://www.profibus.com: PROFINET Systembeschreibung).

Die maximale Segmentlänge bei elektrischer Datenübertragung mit Kupfer-Leitungen zwischen zwei Teilnehmern (Feldgeräte oder Switches) beträgt 100 m. Für die Buskommunikation der Teilnehmer mit dem Bussystem werden konventionelle RJ45-Stecker als auch M12-Stecker verwendet. Eine Stromversorgung ist hierüber selten und nur bei geringem Leistungsbedarf möglich – ansonsten ist eine separate Stromversorgung der Teilnehmer notwendig. Darüber hinaus stehen auch Lichtwellenleiter als Kommunikationsmedium für das Bussystem zur Verfügung (vgl. Kriesel 1988; Kriesel/Heimbold/Telschow 2000).

4 Entwicklung von Feldbussystemen – neuartige Verfahrensansätze an der TH Leipzig

In den 1980er Jahren wurden an der TH Leipzig im Wissenschaftsbereich von *Werner Kriesel* neue Verfahrensansätze gegenüber bisher verwendeten konventionellen Verfahren für Feldbussysteme durch um-

fangreiche Forschungsarbeiten vorangetrieben. Beispielhaft seien hier nur wenige Ansätze vorgestellt.

In ersten Untersuchungen wurde die Auswertung der Laufzeitanalyse von Impulsreflexionen auf der Busleitung als Erkennungsmerkmal der örtlichen Position der Slaves untersucht (vgl. Kriesel/Gibas/Heimbold/Trettner/Fussel 1992). Weiterhin erfolgten Zuverlässigkeitsbetrachtungen, welche sich in gegenläufig verlaufende Kommunikationsübertragungen in Doppelringstrukturen optimal erwiesen (vgl. Kriesel/Rohbeck/Steinbock 1990). In der Dissertation von *Tilo Heimbold* wurde ein Binärer Zubringer realisiert und am Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (*Tilo Pfeifer*) erfolgreich erprobt (Abbildung 7). Das Bussystem wurde als Linienstruktur mit Hilfe des Standards RS 485 entworfen. Der Buszugriff erfolgte durch Polling des Masters mit allen Slaves, bestehend aus einem Decodermodul und der Anschlussmöglichkeit von binären Sensoren und Aktuatoren. Im Ergebnis stellte sich heraus, dass eine Busankopplung von Sensoren/Aktuatoren relativ einfach möglich und bereits ohne Mikroprozessoren realisierbar ist.

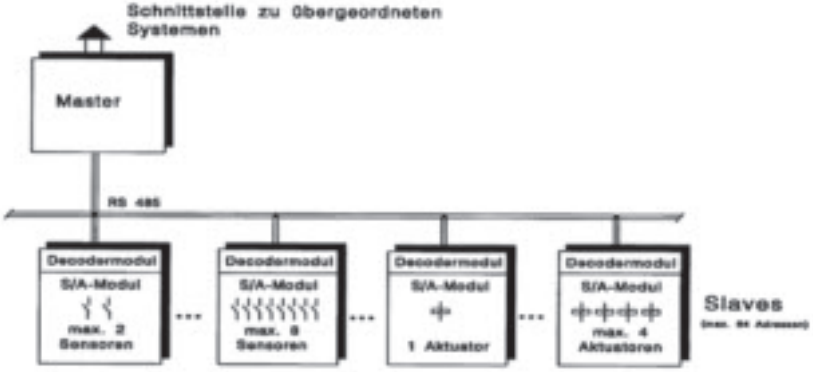


Abb. 7: Struktur des Binären Zubringers (Quelle: Heimbold 1992).

Der Master stellte Kopplungsmöglichkeiten zu übergeordneten Systemen dar, welche ein Feldbus, eine SPS oder sogar ein PC sein konnten (Abbildung 8).

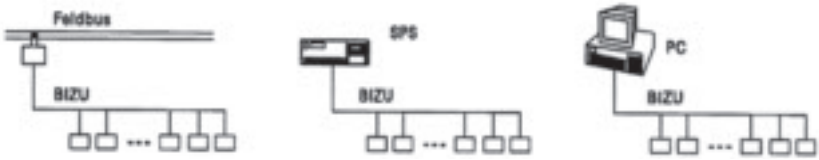


Abb. 8: Kopplungsvarianten des Binären Zubringers (Quelle: Heimbold 1992).

Anfang der 1990er Jahre eröffneten diese Forschungsarbeiten die Möglichkeit zu einer industriell unterstützten und geförderten Projektarbeit zur Thematik Feldbussystem für den Praxiseinsatz. Hierbei wurde schnell erkannt, dass diese neuen Ansätze damals in der Industrie nicht durchsetzbar waren – diese favorisierten modifizierte konventionelle digitale Verfahren mit dem Ziel einer ASIC-Entwicklung zur ausschließlichen Vernetzung von Sensoren.

Alle Industriepartner im geförderten Projekt waren Sensorhersteller, deren Spezifik auf die Vernetzung nur binärer Sensorik über ein 2-Draht-Kabel orientierte. Über dieses Kabel sollte sowohl die Informationsübertragung als auch die Hilfsenergieversorgung aller Busteilnehmer erfolgen sowie eine einfache, kostengünstige Kontaktierungsmöglichkeit realisiert werden.

Von der Struktur her entsprachen diese Wünsche dem unter Verantwortung von *Tilo Heimbold* realisierten Binären Zubringer, für die Buskommunikation und die Anschlusstechnik mussten neue Lösungswege erschlossen werden.

5 Standardisierte Bussysteme für die untere industrielle Feldebene

5.1 Erste Generation: AS-Interface ASi-3

In einem geförderten Projekt, bestehend aus elf Industriepartnern (10 Sensorhersteller und ein Aktuatorhersteller) und zwei wissenschaftlichen Einrichtungen (TH Leipzig, *Werner Kriesel* und das Forschungszentrum Informatik (FZI) an der Universität Karlsruhe, *Klaus Bender*, Erfahrungsträger für den PROFIBUS als übergeordnetes Bussystem) erfolgte die Entwicklung und industrielle Umsetzung einer 1. Generation des Feldbussystems AS-Interface, welches auf die Anforderungen

der unteren Feldebene zugeschnitten wurde (vgl. Kriesel/Madelung 1994/1999). Insbesondere die Elektromagnetische Verträglichkeit in der rauen Industrieumgebung der Feldebene stellte besondere Anforderungen an die Systemauslegung bzgl. der Übertragungssicherheit. Neben der Informationsübertragung bestand die Forderung einer Hilfsenergiebereitstellung für alle Busteilnehmer mit einer Leistung bis zu 250W. Als Buskabel kam damit nur eine ungeschirmte Zwei-Draht-Leitung mit mechanischem Verpolschutz in Frage, um eine einfache mechanische Kontaktierungslösung zu ermöglichen.

Die Signalgenerierung musste aufgrund der notwendigen und zugleich preisgünstigen mikroelektronischen Lösung für einen Application-specific Integrated Circuit (ASIC) möglichst einfach ausfallen und trotzdem die hohe Datensicherheit (Hamming Distance HD=5) aufweisen.

Somit wurde die Systemauslegung ausschließlich für digitale Sensoren mit Datenbreite <4 Bit konzipiert, eine Systemerweiterungen auf 16 Bit Analogwerte und Safety-Funktion fand erst deutlich später mit der Weiterentwicklung des Systems statt.

Trotz des hohen Neuheitsgrades von AS-Interface als Bussystem mit speziellem Zuschnitt für die untere Feldebene begründete sich der maßgebende Systemerfolg aus der einfachen und verwechselungsfreien Kontaktierung der Slaves mittels Durchdringungstechnik und nicht, wie ursprünglich erwartet, aus der Verfügbarkeit eines ersten ASIC^1s und damit kostengünstig realisierbarer Einzelkomponenten für Sensoren und Aktuatoren.

In Abbildung 9 ist die Struktur von AS-Interface dargestellt. Das System kann in Linien- und Baumstrukturen mit Abzweigen realisiert werden.

Im Gegensatz zum Binären Zubringer wird ein spezielles Bussignal zur gemeinsamen Informations- und Hilfsenergieübertagung über das 2-adrige Buskabel verwendet. Der Bus besitzt 100 m Leitungslänge, welche durch die Reihenschaltung von Repeatern nach jeweils 100 m zweimal auf insgesamt 300 m verlängert werden kann.

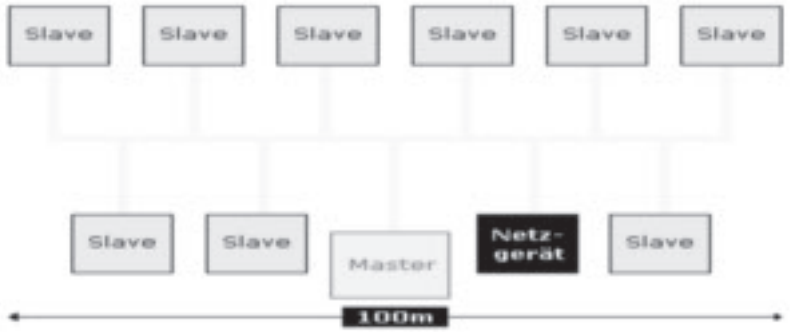


Abb. 9: Systemstruktur AS-Interface (Quelle: AS-International Association).

In Abbildung 10 ist die einfache Signalübertagung von AS-Interface dargestellt.

Dabei wird die Bitfolge (1) in einen Manchester-Code (MAN-Code) (2) transformiert, sodass ein Rechtecksignal mit zwei dominierenden Frequenzen mit technisch bedingten Oberwellen entsteht. Aufgrund der ungeschirmten Busleitung würde so eine hohe Störabstrahlung verursacht, welche es aber zu verhindern galt. Mittels einer Tiefpassfilterung dieses MAN-Codes kann ein deutlich oberwellenreduziertes Stromsignal generiert werden, und eine Sendestufe entzieht aus dem Netzteil einen entsprechenden Strom. Eine Trennung des Kommunikationssignals von der Gleichspannung des Netzteils kann einfach mit Hilfe von beiderseits in die Stromleitung integrierten Spulen erfolgen, welche für Gleichspannung in ihrer Impedanz niederohmig und für das Kommunikationssignal hochohmig sind.

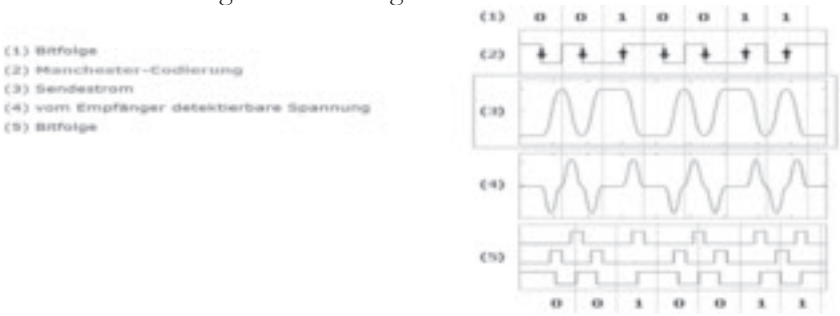


Abb. 10: Prinzip der Signalgenerierung (vgl. Kriesel/Madelung 1994/1999).

Mittels dieser einfachen Signaltrennung wird das Stromsignal der Kommunikation durch die Spulen im Netzteil differenziert, sodass auf dem Bussystem nur ein Wechsel von positiven und negativen Spannungspulsen (4) entsteht.

Diese Pulsfolge kann einfach durch zwei Komparatoren, jeweils für die positiven bzw. negativen Pulse, wieder in eine Folge von Rechtecksignalen (5) zurückgewonnen werden. Durch ein nachfolgend verwendetes Flip-Flop wird unter Nutzung der beiden Folgen der Rechtecksignale der MAN-Code mit einem geringen Zeitversatz zu (2) und daraus die Informationsbitfolge zurückgewonnen.

Abbildung 11 zeigt einen realen Oszilloskop-Plot des Bussignals, beginnend links mit einem Mastertelegramm aus 14 Bit, gefolgt von einer Pause und der nachfolgenden Slaveantwort mit sieben Bit. Jedes Telegramm beginnt mit einem Startbit (1. negativer Puls), nur beim Master gefolgt von einem Steuerbit, den fünf Adressbits und der vier Datenbits. Die Datensicherung erfolgt logisch mit einem Paritätsbit und abschließend einem Endebit. Der Slave beinhaltet nur das Start-, die Daten-, das Paritäts- und das Endebit.

Durch verschiedene Auswertungsmechanismen der Pulsfolge auf dem Bussystem durch die im ASIC integrierte Empfängerhardware konnte die hohe Datensicherheit von HD=5 erzielt werden.

Bekannte Verfahren zur Datensicherung bei höheren Bussystemen wie CRC-Verfahren waren aufgrund der geringen Datenbreite hier nicht anwendbar, da die CRC-Prüfsumme eine größere Datenbreite als die eigentlich zu übertragende Information besitzt und damit störanfälliger als das kurze Telegramm nur mit der Paritätsprüfung wäre.

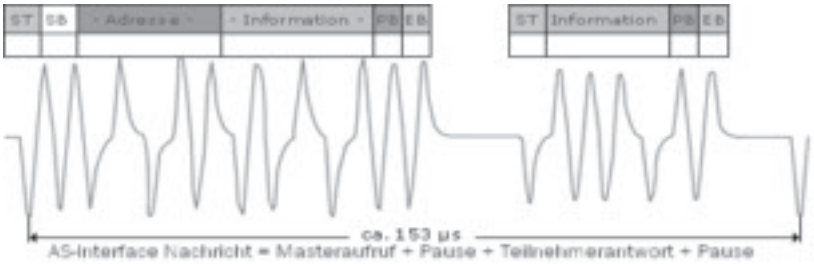


Abb. 11: Bussignal als Oszilloskop-Plot (Quelle: ASi-Prüflabor Leipzig).

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen ein Beispiel einer Systemrealisierung sowie ein Anwendermodul der Fa. ifm electronic gmbh. In

Abbildung 14 wird die Anschlusstechnik mittels Durchdringungstechnik (Piercing) gezeigt, welche gravierend zum Systemerfolg beigetragen hat.

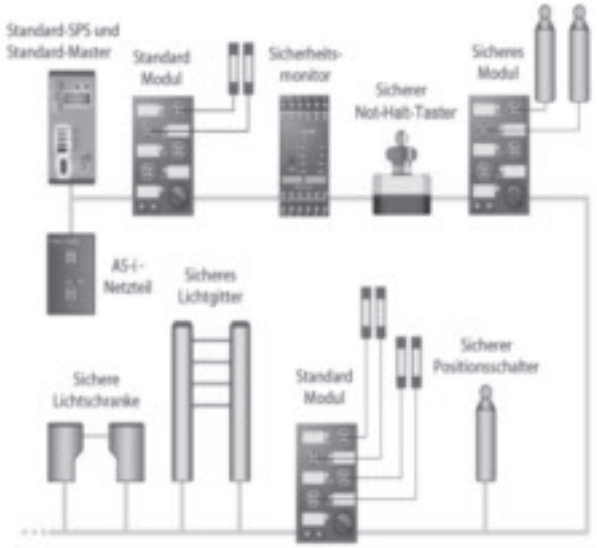
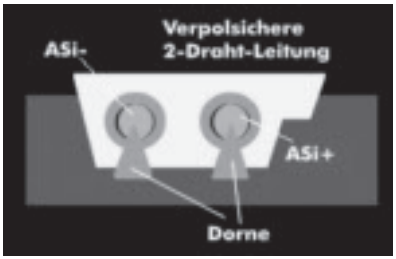
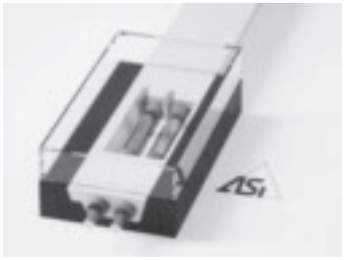


Abb. 12: Industrielles Beispiel einer Systemrealisierung electronic gmbh (Quelle: www.as-interface.net).

Abb. 13: Anwendermodule ifm Essen/Tettnang (Quelle: Foto ifm)



(a) Seitenansicht



(b) Draufsicht

Abb. 14: Kontaktierung der Busteilnehmer mittels Piercing-Technologie (Quelle: www.as-interface.net).

Aktuell sind mehr als 41 Millionen Geräte im Feldeinsatz, davon in Europa 70%, Amerika 12% und Asien 18%. Das Wachstum beträgt weltweit ca. 15% p. a. Damit ist AS-Interface das weltweit führende Kommunikationssystem auf der Sensor-Aktuator-Ebene. Durch die Erweiterung des Einsatzbereiches von AS-Interface in sicherheitsrelevanten Bereichen hat das System einen weiteren Aufschwung erfahren. Heute sind dadurch mehr als 10 Millionen AS-Interface Safety at Work-Geräte im Einsatz und somit das weltweit erfolgreichste Sicherheitsbussystem zur Übertragung von Not-Halt-Signalen.

Die Weiterentwicklungen von AS-Interface vollzogen sich in folgenden Schritten: 1990 – AS-Interface die Idee, 1994 – Erste Systeme im Einsatz, 1998 – Analog, 62 Slaves, Diagnose, 2001 – Safety at Work, 2004 – FDT, Serielle Protokolle, 2007 – Safety at Work, Ausgänge, 2013 – Power24 Technologie. Damit waren die wesentlichen Entwicklungen zur Ersten Systemgeneration von AS-Interface abgeschlossen. Das System hatte sich ca. 15 Jahre am Markt etabliert, und andere Bussysteme wie o. g. PROFINET kamen mit neuen Features auf den Markt. Hierzu hatte AS-Interface als unterlagertes Bussystem im Feldbereich über die Jahre an Leistungsfähigkeit eingebüßt, sodass eine Zweite Generation erforderlich wurde.

5.2 Zweite Generation: AS-Interface ASi-5

Bereits im Jahre 2008 haben daher interne Forschungsarbeiten für die Entwicklung einer neuartigen Generation von AS-Interface begonnen. Von Seiten der Industrie wurden hohe Systemanforderungen für die Entwicklung der 2. Generation gestellt, die eine Revolution darstellten.

Ein wesentliches KO-Kriterium war der unbedingt einzuhaltende Koexistenzbetrieb beider Generationen am identischen Buskabel von ASi-3 unter ebenfalls Einhaltung der Kontaktierungstechnik Piercing.

Der Performancegewinn sollte mindestens Faktor 40 gegenüber der 1. Generation garantieren und durch die erweiterten Systemparameter bzgl. Geschwindigkeit, höherer Teilnehmeranzahl (96…128 Slaves), verdoppelter Buslänge (min. 200 m), deutlich erweiterter Datenbreite (16…256 Bit) und der Integrationssicherung von IO-Link erzielt werden. Natürlich musste die Safety-Funktion (Not-Halt) als integraler Bestandteil erhalten bleiben und eine (System-)Diagnose als integraler Systembestandteil zusätzlich möglich sein, vergleichbar mit PROFINET.

Als Ausgangsbasis wurde auf eine digitale OFDM-Kommunikation der Nachrichtentechnik orientiert (Kooperation: Universität Stuttgart, Institut für Nachrichtenübertragung; vgl. Speidel 2018). Diese hatte jedoch den wesentlichen Nachteil einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung – benötigt wurde aber eine Punkt-zu-Multipunkt-Kommunikation von einem Master zu einer Vielzahl von Slaves. Dies entspricht dem Übergang der seriellen Informationsübertragung von AS-i3 zu einer parallelen Kommunikation zwischen Master und allen Slaves gleichzeitig, vergleichbar mit der früheren konventionellen Parallelverdrahtung der SPSen mit der IO-Peripherie aus den 1980er Jahren.

Somit war eine umfangreiche Modifikation des OFDM-Verfahrens hinsichtlich dieser erforderlichen Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung zu leisten (Dissertation *Bräuninger*, Universität Stuttgart). Zusätzlich bestand die Anforderung an eine sehr hohe EMV-Sicherheit, wofür die statistischen Auswerteverfahren der Nachrichtentechnik nicht ausgelegt waren – also immer ein gewisser Restfehler bei der Informationsübertragung verblieb. Dieser Restfehler konnte jedoch bei Industrieanwendungen nicht toleriert werden – es könnte daraus z. B. eine Information in der Peripherie ausgelöst worden sein, ohne dass die höheren Ebenen davon Kenntnis haben. Die hohe EMV-Sicherheit erforderte über die bekannten Maßnahmen wie CRC-Verfahren und Trägerredundanzen hinausgehende Maßnahmen wie z. B. eine zeitinkonsistente Informationsübertragung über verschiedene Informationsträger (vgl. Becker/Heimbold/Telschow 2021).

Weiterhin flossen die grundlegenden Konzepte von PROFINET bzgl. zweier unabhängiger Informationskanäle zum Systemmanagement

in die Entwicklung der 2. Generation ein. Für den Austausch von IO-Informationen der Anlage besteht ein zyklischer Kanal, und für das System-Management wie (System-)Diagnosefunktionen inclusive automatischen Systemoptimierungen wurde zusätzlich ein azyklischer Kanal realisiert.

Für den Service musste die bisher übliche Plug-and-play-Fähigkeit bei Komponentenwechsel ohne erneute Adressvergabe erhalten bleiben.

Die entsprechend umgesetzten Grundlagenuntersuchungen konnten im Jahre 2015 mit Hilfe zweier geförderter Forschungsprojekte ISIS und Toolnet erfolgversprechend abgeschlossen werden, sodass die beteiligten 7 Industriepartner nun eine ASIC-Entwicklung starteten, welche 2017 durch ein firmenfinanziertes ASIC Development Project in einen neuen System-ASIC mündete und damit ab 2019 die ASi-5 Technologie als zweite Generation von AS-Interface für die Vermarktung verfügbar war.

Abbildung 15 zeigt ein stark vereinfachtes Blockschaltbild für die notwendigen Algorithmen der digitalen Modulation. Beginnend mit der Bereitstellung eines analog-digital gewandelten Empfangssignals aus dem Physical-Layer startet die Signalaufbereitung mit einer Rahmenerkennung und Fensterung aller parallel eintreffenden Bussignale, gefolgt von einer Fast-Fourier-Transformation und Phasenschätzung, anschließender Decoder und Descrampler. Weiterhin wird das Signal-Rausch-Verhältnis aller übertragenen Trägerfrequenzen zur Bewertung der Signalqualität geschätzt – also die Verwertbarkeit der Informationen auf den einzelnen Trägern.

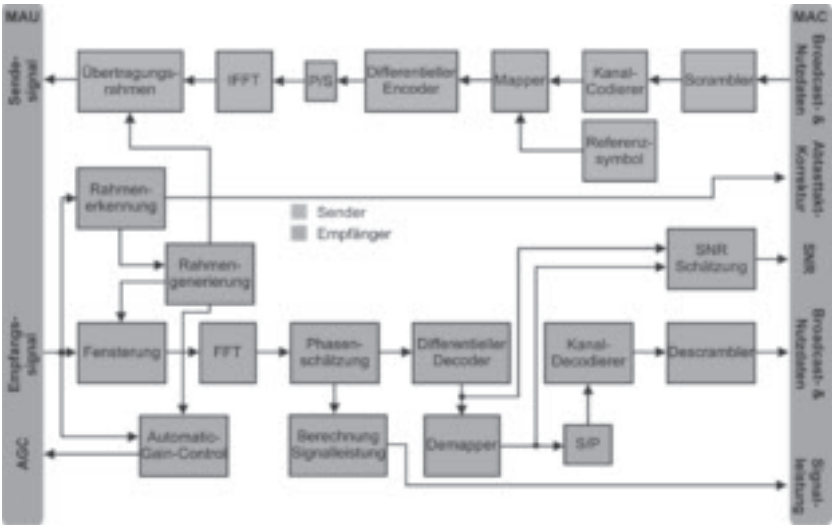


Abb. 15: Stark vereinfachtes Blockschaltbild der digitalen Modulation bei ASi-5 (vgl. Becker/Heimbold/Telschow 2021, 22).

Da der Empfang aller Träger nicht an jedem Ort des Bussystems garantiert ist, erfolgt zur Verbesserung des Übertragungssignals eine automatische Verstärkungsregelung des Eingangsempfängers. Die Sendeseite entspricht in etwa der inversen Funktion der Empfangsseite. Die unterschiedlichen Peripherieinformationen aller Teilnehmer führen bei der Bildung von Digitalsignalen zu stark unterschiedlichen Signalpegeln und damit hohen Aussteuerbarkeitsanforderungen der analogen Empfangsstufen sowie der Verstärkungsregelung. Aus diesem Grund werden die digitalen Signale einem Scrampler zugeführt. Dieser kombiniert die Signale derart, dass die hohen Signalpegel bei der Bussignalgenerierung vermieden werden, also ein kleiner sog. Crest-Faktor entsteht, der die Unterschiede zwischen den Spitzen- und dominierenden Pegeln beschreibt.

Die Systemstruktur von ASi-5 entspricht identisch der von ASi-3 mit der einzigen Einschränkung unter Verwendung von Repeatern der ersten Generation. Da diese die ASi-5 Kommunikation nicht unterstützen, ist ASi-5 nur auf der Seite verfügbar, wo sich der Master von ASi-5 befindet (Abbildung 16).

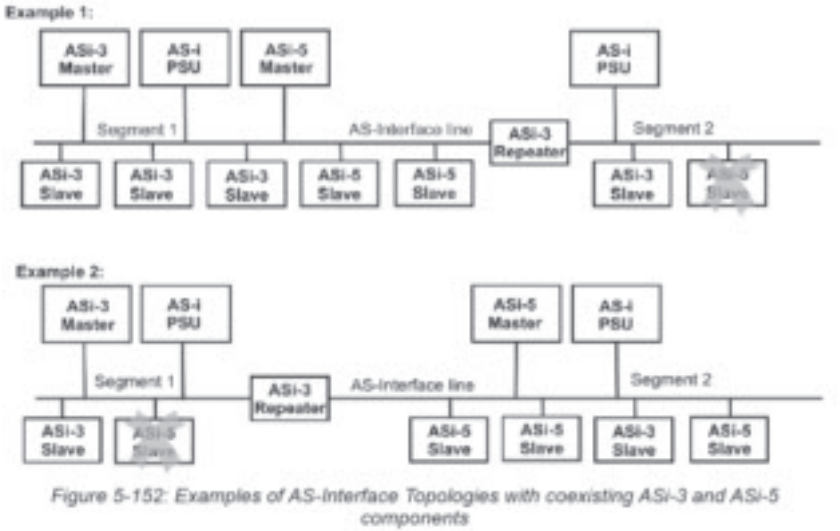


Abb. 16: Gemischte Systemstruktur von ASi-3 und ASi-5 (Quelle: www.as-interface.net).

Die deutlich veränderte Signaldarstellung von ASi-5 auf dem Bussystem zeigt Abbildung 17, wobei blau der Masteraufruf ist, beginnend mit der Trainingssequenz (unten links mit höherem Pegel als Startsignal), gefolgt von einer kurzen Pause und dem parallelen Signalgemisch aller Slaveantworten. Der minimalen Informationsbreite von 16 Bit werden noch vier Zusatzbits vorangestellt, um zu erkennen, ob es sich um ein Master- bzw. Slavetelegramm handelt, der Slave eine Eventanforderung (E) an den Master hat oder es sich um Informationsbits aus einer multiplexen Mehrfachübertragung (O1,O0, Mx) handelt.

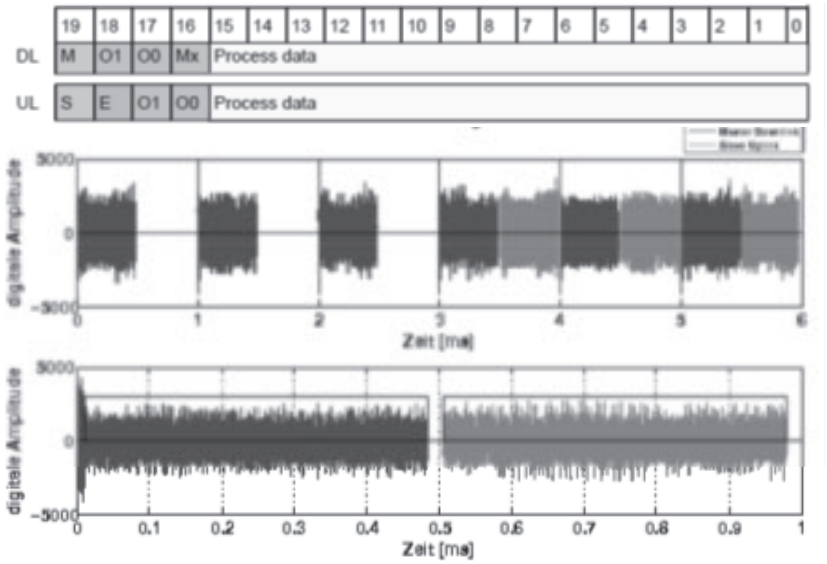


Abb. 17: Bussignal ASi-5 (blau: Masteraufruf an alle Slaves, rot: gemeinsame Slaveantwort aller Slaves) (vgl. Becker: Heimbold/Telschow 2021: 26).

Abbildung 18 zeigt einen Laboraufbau aus der ASi-5-Entwicklung mit 128 Slaves in Linienstruktur mit gleichverteilten Abständen über 200 m Busleitung und einem Prototyp-Master. Als Slaves wurden bereits erste verfügbare ASICs für Systemtests verwendet – einerseits zur Überprüfung der ASIC-Funktionalität als auch zur Systemauslegung bzgl. Übertragungsqualität und Stabilität unter genormten EMV-Störungen.

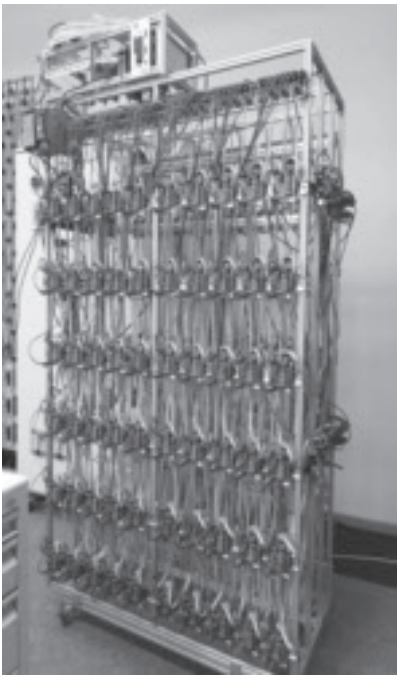


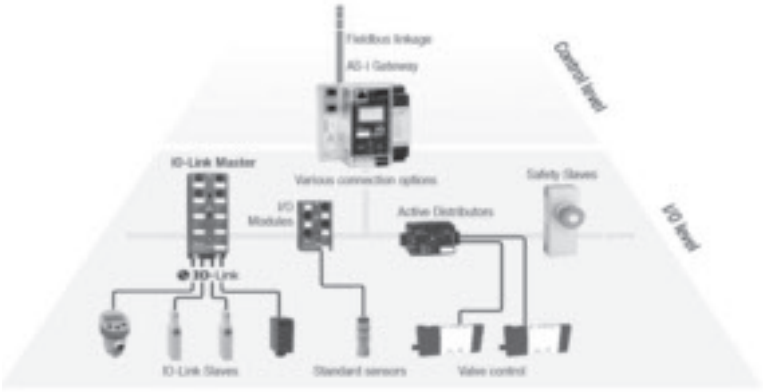
Abb. 18: Laboraufbau aus der Systementwicklung von ASi-5 (Quelle: Foto Telschow).

In Abbildung 19 sind erste verfügbare ASi-5-Komponenten und typische Systemaufbauten dargestellt.

Inzwischen verfügt das System ASi-5 über folgende Gerätelösungen:

- ASi-(Doppel-) Kombimaster (ASi-3/ASi-5), auch mit integrierter Safety-Funktion,
- I/O-Module 4…16-fach binär/analog mit automatisch selbstkonfigurierender Peripherie zur Ankopplung konventioneller Sensorik/Aktuatorik für die Feld-/Schaltschrankmontage und spezielle Ventilansteuerungen für den Pneumatikbereich,
- IO-Link Mastermodule 4-fach zur Ankopplung von IO-Link-fähiger Sensorik,
- Motorstarter-Module zur direkten Ansteuerung von Leistungsmotoren im kW-Bereich,
- Safety-Komponenten, sichere Module für Ein-/Ausgänge und Notausschalter.

(a) Topologie



(b) Modulvarianten

Abb. 19: Industrielle Realisierung von ASi-5 (Quelle: www.bihl-wiedemann.de)

Tabelle 1 gestattet den Performance-Vergleich beider ASi-Generationen beispielhaft bzgl. der Informationsbreite mit einer Erhöhung von ursprünglich 4 Bit auf aktuell bis zu 256 Bit, der deutlich erhöhten Slaveanzahl von 31, erweiterbar auf über 127, bei vergleichbarer Zykluszeit von damals 5 ms bei 31 Slaves auf heute max. 5 ms jedoch bei Vollausbau mit >127 Slaves.

Parameter	**AS-Interface (ASi-3)**	**ASi-5**
Informationsbreite	**4 Bit**	**1 … 16 Bit (ggf. bis 64 Bit)**
Teilnehmeradressen	31; neu: 62	96 (erweiterbar auf

(Slaves)		>127)
Binäre Sensoren/ Aktuatoren	124 / 124; neu: 248 / 248	2032 / 2032
Doppeladressvermeidung	nein	ja
Zykluszeit	5 (10) ms	1,25 ms (5 ms im Vollausbau)
Azyklische Daten	nein	ja
Übertragungsrate	53,3 kbit/s (netto)	bis 4 Mbit/s
Leitungslänge	100 m (2-adr, Standard) 200 m (Busabschluss) 300 m (2 Repeater) 600 m (Busabschluss + Repeater) 2000 m (Spezialsystem)	200 m (2-adr, Standard) 400 m mit Doppelmaster
Gleichstromfreiheit	ja (Manchester-Code)	ja (digitale Modulation + Codierung)
Topologie	Linie, Baum	Linie, Baum
Buszugriffsverfahren	Master-Slave	Master-Slave
Teilnehmerabfrage	seriell	parallel
Ex-Schutz	ja	ja
Safety at Work	ja	ja
Elektromech. Schnittstelle	innovative EMS	innovative EMS
System-Kabel	2-adr. symmetrisch	2-adr. symmetrisch
Wireless-Komponente	nein	ja
Koexistenz mit ASi-3		ja

Tab. 1: Performance-Vergleich der beiden AS-Interface-Generationen

Die Markteinführung (Europa-/IEC-Norm) von ASi-3 erfolgte mit dem Jahr 1994. Im Laufe der Zeit wurden ständig Weiterentwicklungen des Systems realisiert, wobei jede größere Weiterentwicklung ein neues

ASIC-Design mit Millionenaufwand erforderte. So entstanden insgesamt 6 verschiedene ASIC-Typvarianten für ASi-3, entwickelt und gefertigt von den Chipfabriken AMS / ZMD / IDT / Renesas in Dresden. Vorausgegangen war 1992 eine weltweite Ausschreibung des ASICs, in die 20 Mikroelektronik-Konzerne einbezogen wurden, jedoch nur 4 die extremen Anforderungen der Hochvolttechnologie erfüllen konnten. Den Zuschlag bekam der Konzern Austria Micro Systems (AMS) in Österreich. Dieser hatte inzwischen aber von der Treuhandanstalt den ehemaligen DDR-Betrieb Zentrum für Mikroelektronik Dresden (ZMD) gekauft und technologisch auf Weltniveau gebracht, so dass der ASIC für AS-Interface schließlich intern nach Dresden vergeben wurde.

Heute hat sich AS-Interface in seiner Klasse als Weltmarktführer etabliert mit rund 100 Geräte-Produzenten weltweit. Mehr als 40 Mio. ASICs (Busknoten) sind nach über 25 Jahren im Einsatz, und über 150 Mio. Sensoren und Aktuatoren wurden damit vernetzt.

Der ASIC ASi-3 besaß eine damals notwendige Hochvolttechnologie zur direkten Busankopplung zzgl. einer ausschließlich kombinatorischen Hardware mit zusätzlich sehr kleiner Speicherstruktur zur Konfigurierung weniger Systemparameter und der Adresse des Slaves.

Im heutigen ASIC ASi-5 konnte die Hochvolttechnologie aufgrund des verwendeten hohen Frequenzbereiches zur Informationsübertragung nicht mehr realisiert werden. Neu hinzugekommen sind hingegen automatisch regelbare Verstärker in den Sende- und Empfangsstufen, schnelle AD- sowie DA-Wandler, komplexe Hardwarestrukturen zur extrem schnellen Signalbearbeitung, ein integrierter Mikrocontroller mit Speicher (damit große Teile der digitalen Funktionen änderungsfreundlich als Software für künftige Weiterentwicklungen realisiert werden können) sowie ein SPI-Interface zur Kopplung externer Mikrocontroller für hoch komplexe Komponentenlösungen. Hersteller ist der Mikroelektronikkonzern Renesas/Japan, wobei die Entwicklung des ASIC in der Europaniederlassung in Deutschland stattfand. In Abbildung 20a bis 20c sind drei Beispiele zu den ASIC-Generationen ASi-3 und ASi-5 dargestellt.

a) ASi-3 mit Außenbeschaltung b) mit integr. Safety

c) ASi-5 (ca. 1 cm²)

Abb. 20: ASIC-Versionen von ASi-3 bis ASi-5 (Quellen: (a), (b) www.as-interface.net, (c) Foto Telschow)

6 Systemerweiterungen der Anlagentechnik

Die verteilte Intelligenz in den Peripheriekomponenten der Anlage gestattet mit ASi-5 nun systemübergreifend als unterlagertes Feldbussystem von PROFINET neue Möglichkeiten der Systemerweiterung und zur Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit:

- Diagnosefunktionen der Sensorik / Aktuatorik bis zur Detektion einer Vorausfalldiagnose,
- Diagnosefunktionen mittels ASi-5 bis in die Feldebene inclusive einer kompletten Systemdiagnose,
- Plug-and-Play-Fähigkeit bei Komponentenwechseln ohne Zusatzaufwand,
- Verwendung automatisch ablaufender sowie adaptiver Verfahren im laufenden Betrieb führen zu Möglichkeiten einer kompletten Systemoptimierung, abgestimmt auf den aktuellen Anlagenzustand,

auch unter EMV-Störungen durch geeignete selbständig ablaufende Trägerwechsel,
- Therapiesteuerung bei Systemproblemen durch Anschluss eines adaptiven Busabschlusses, z. B. bei Überschreitung der Busleitungslänge bei ASi-3 sowie in Kombination mit ASi-5,
- ASi-5 ist somit zu einem Daten-Shuttle aufgestiegen und kann als einfach zu installierender Zubringer die Daten neuer IO-Link-fähiger Sensorik direkt über PROFINET in die Industrie 4.0-Welt weiterreichen.

6.1 Anwendung der Künstlichen Intelligenz

Die Begriffseinführung *»Künstliche Intelligenz« (KI)* stammt aus den 1950er Jahren und wurde als die Fähigkeit eines technischen Systems verstanden, intelligentes menschliches Verhalten nachzubilden oder zu übertreffen, indem der Computer trainiert wird, um ihm das gewünschte Verhalten zu vermitteln. Traditionell bedeutete dies, ein Programm für einen Computer zu erstellen, das Daten verarbeitet und die gewünschte Ausgabe liefert (deterministischer Prozess).

Aktuelle KI-Technologien kehren jedoch diesen Ansatz um. Man füttert einen Computer mit Daten und trainiert ihn mit mathematischen Verfahren, um aus diesen Daten ein sinnvolles Ergebnis zu ermitteln (vgl. Lunze 2016).

Die Methoden der KI bzgl. Deep-Learning beruhen auf Lernalgorithmen des Machine-Learning, die aus Daten lernen können, d. h. die Erfahrungen hinsichtlich einer Klasse von Aufgaben und einer Leistungsbewertung von bewerteten Aufgaben steigen mit zunehmender Erfahrung (vgl. Goodfellow/Bengio/Courville 2018). Zu den Aufgabenklassen gehören folgende:
- Klassifizierung – in welche Kategorie gehören die Eingangsdaten?
- Klassifizierung mit fehlenden Eingangsdaten. Zur Lösung dieses Problems muss eine Funktionszuordnung zu einer kategorischen Aufgabe definiert werden. In diesem Fall muss eine Menge von Funktionen gelernt werden.
- Regression – für diese Aufgabe muss das Controller-Programm anhand von Eingangsdaten einen Zahlenwert vorhersagen.

- Transkription – für diese Aufgabe muss das System relativ unstrukturierte Daten in eine diskrete Textform überführen, z. B. bei optischen Zeichenerkennungen – war für ASi-5 nicht relevant.
- Maschinelle Übersetzung – für dieses Verfahren liegen bereits Eingangsdaten als Sequenz vor, d. h. das Programm muss diese Sequenz entsprechend umwandeln.
- Strukturierte Ausgaben – umfasst alle Aufgaben, deren Ausgabe einer anderen Datenstruktur mit mehreren Werten ist, in der wichtige Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen vorliegen. Ein Beispiel hierfür ist das Parsing, welches eine Analyse und Zergliederung der Eingangsdaten in eine Baumstruktur unterteilt.
- Erkennung von Anomalien – Durchsuchung von Ereignissen und Markierung von ungewöhnlichen Ereignissen. Dies ist bei EMV-Störungen relevant und wird von ASi-5 bereits erkannt und ausgefiltert.
- Synthese und Stichprobenverfahren (Sampling) – nicht relevant, da laufend umfangreiche aktualisierte Eingangsdaten bei ASi-5 vorliegen.
- Ersetzen fehlender Werte – Lösung durch Vorhersagen, z. B. Ergebnis der Fehlerkorrektur.
- Denoising (Entrauschen) – beschädigte Eingangsdaten mit unbekannter Fehlerursache sind im ASi-5 nicht relevant, da alle Eingangsdaten im System gültig sein müssen, um Fehlverhalten in einer Anlage unbedingt zu verhindern (Ko-Kriterium für die Systemzuverlässigkeit).
- Dichte- bzw. Wahrscheinlichkeitsschätzung – in diesem Fall müsste das Programm eine Wahrscheinlichkeitsfunktion erlernen, d. h. der Algorithmus muss die Struktur der beobachteten Daten erlernen. Dies ist ggf. zukünftig für eine Topologie-Analyse relevant.

Die Leistungsbewertung wird speziell für die durch das System ausgeführten Aufgaben festgelegt. Da alle Eingangsdaten im System korrekt vorliegen und keine Anomalien, die Notwendigkeit von Stichproben noch das Ersetzen fehlender Werte notwendig erscheint, sollte die Leistungsbewertung relativ einfach möglich sein.

Lerning-Algorithmen lassen sich abhängig von der Art der Erfahrungen, denen sie in der Lernphase ausgesetzt sind, grob in unüberwachte und überwachte Algorithmen einteilen. Bei ASi-5 liegen ständig

aktuellen Daten aus dem Systemverhalten vor, also werden einfachere überwachte Algorithmen für die KI-Verfahren relevant, da weder Stichproben, Denoising noch Dichte-/Wahrscheinlichkeitsschätzungen benötigt wurden.

Bei der Festlegung der Strategie für den praxisorientierten Designprozess des KI-Algorithmus für ASi-5 war zu berücksichtigen:

1. Zielfestlegung – welche Parameter sollen verwendet werden? Was ist der eigentliche Zielwert?
2. Festlegung eines Ende-zu-Ende Prozesses, der die Schätzung des Performance-Kriteriums umfasst.
3. Der KI-Algorithmus sollte das Anlagensystems optimal konfigurieren, Engpässe bei Parametern aufspüren, eine daraus folgende System-Diagnose ermöglicht und die realen Parameterabweichungen im laufenden Betrieb infolge ggf. von Fehlanpassungen im System aufzeigen.
4. Bereits gezielte geringe Änderungen von Systemparametern eröffnen nun Möglichkeiten zur Beobachtung der Anlagenauswirkungen.
5. Durch Integration von KI wurde die Ableitung von Anlageninformationen für den Anwender bzgl. der Systemverfügbarkeit möglich.

Der Performancegewinn der verteilten Intelligenz bei ASi-5 gestattet durch den integrierten Microcontroller inclusive der Peripheriekomponenten im ASIC die erstmalige Anwendung rechenintensiver Methoden der KI zur Analyse des Anlagenumfeldes. Dies führt zur Erhöhung der Arbeitssicherheit an Maschinen durch Erkennung von Personen oder Objekten (Safety at Work) sowie der gesamten Anlagenverfügbarkeit und ermöglicht eine größere Anlagenauslegung durch (System-/Eigenfunktions-) Diagnosen, wie z. B. durch ständig aktualisierte EMV-Analysen u. a.

In Abbildung 21 ist hierzu ein einfaches Beispiel für die Möglichkeiten der KI-Anwendung aufgezeigt. Ohne die KI würde bei erkannter geringer Trägerverfügbarkeit die Anzahl der angeschlossenen Slaves bei Störungen reduziert werden müssen (linker Zweig). Hingegen eröffnet die KI durch die ständige Systemanalyse einen automatisch ablaufenden Trägerwechsel – erst bei zu geringer Trägerverfügbarkeit aufgrund Unterschreitung der Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)-Mindestanforderungen wird dem Anwender der EMV-gestörte Frequenzbereich mitgeteilt, um den Störer detektieren und schließlich eliminieren zu können,

wodurch wieder eine deutlich verbesserte Anlagenfunktion zu erzielen ist (rechter Zweig).

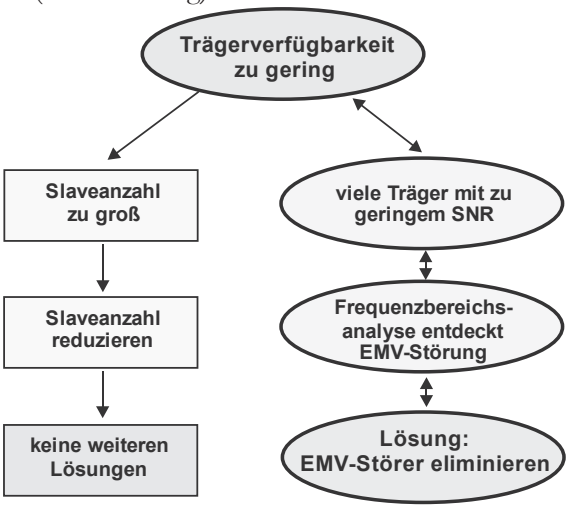


Abb. 21: Suchgraph bei ASi-5 nach der KI-Methode „Rückwärtsverkettung".

6.2 Paradigmenwechsel durch Industrie 4.0

Seit den 1970er Jahren zog die Informationstechnologie verstärkt in die Unternehmen ein. Desktop, PCs, der Einsatz von Office-IT und erste computergestützte Automatisierungen revolutionierten die Industrie. Für die erreichte Automatisierungsstufe Industrie 4.0 ist nicht der Computer die zentrale Technologie, sondern das Internet zusammen mit den dezentralen Speicherprogrammierbaren Steuerungen SPSen (vgl. Zander 2015).

Grundsätzlich bezeichnet der Begriff Industrie 4.0 die intelligente und dauerhafte Verknüpfung und Vernetzung von Maschinen und maschinell betriebenen Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie.

Mit der weltweiten Vernetzung über Unternehmens- oder Ländergrenzen hinweg gewinnt die Digitalisierung der Produktion eine neue Qualität (vgl. Lange/Lange 2019): Das Internet der Dinge, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation und Produktionsstätten, die immer intel-

ligenter werden, läuten eine neue Epoche ein – die vierte industrielle Revolution, Industrie 4.0 (vgl. Kriesel/Hofmann 2020).

Die industrielle Welt steht vor laufend neuen Herausforderungen. Unsere Ressourcen sind endlich, und wir alle müssen mit weniger mehr erreichen. Digitalisierung und Automatisierung sind die Lösungen, um auf dem Weg zu Industrie 4.0 diese Herausforderungen zu meistern (vgl. Neumann 2018).

Es gilt, die riesigen Mengen an erzeugten Daten im Industrial Internet of Things (IIoT) zu sammeln, zu verstehen, einzusetzen und die reale mit der digitalen Welt zu verbinden. Das Ergebnis sind nahezu unendlich große Datenmengen, die es uns ermöglichen, unsere begrenzten Ressourcen effizient zu nutzen und die Industrie nachhaltiger zu gestalten.

Die Verbindung der realen mit der digitalen Welt ermöglicht die nahtlose Integration der gesamten Wertschöpfungskette vom Design bis zur Realisierung, während ein kontinuierlicher Datenfluss die ständige Optimierung ermöglicht.

Daraus abgeleitet entstehen zunehmend neue Anforderungen an die Kommunikationssysteme:

- Der Vernetzungsumfang mit stark steigender Anzahl von Sensoren/Aktuatoren (Felder) erfordert eine größere Anzahl anschließbarer Sensorik/Aktuatorik.
- Die Forderungen bzgl. Eigendiagnosefunktionen erfordern nochmals mehr Sensorik.
- Der Aufwand bzgl. Diagnostik von Objekten wächst durch den steigenden Automatisierungsgrad laufend.
- Die Massen-/Breitenanwendungen nehmen weiter zu.

Darauf hat ASi-5 Antworten auf die neuen Anforderungen bereits im System implementiert:

- Die Teilnehmerzahl, Datenbreite und Abfragegeschwindigkeit wurde erheblich im Vergleich zu ASi-3 gesteigert.
- Vergleichbar mit PROFINET wurde eine gegenseitig unabhängige zyklische sowie azyklische Informationsübertragung realisiert, um die steigenden Anforderungen bzgl. Diagnoseaufgaben unabhängig von der eigentlichen Übertragung der Peripherieinformationen sicher zu stellen.

- Es wurde eine Integration eines IO-Link-Masters in entsprechende ASi-5-Slaves als Systembestandteil umgesetzt, um eine Durchgängigkeit des Informationsflusses von PROFINET über ASi-5 bis in die IO-Link-fähige Sensorik in vollem Funktionsumfang zu gewährleisten.
- Über den verfügbaren azyklischen Informationskanal mit hoher Bitbreite besteht die Möglichkeit von Umprogrammierungen der Sensorik sowie Aktuatorik im laufenden Betrieb, z. B. für neue Kennlinienkalibrierungen, Änderung des Farbspektrums bei Optosensorik u. a.

In Abbildung 22 ist hierzu eine Grafik, beginnend bei der Sensorik über deren Anbindung über ASi-5 und einem Gateway zu Industrial Ethernet (PROFINET) in die IIOT-Welt von Industrie 4.0-Lösungen, dargestellt.

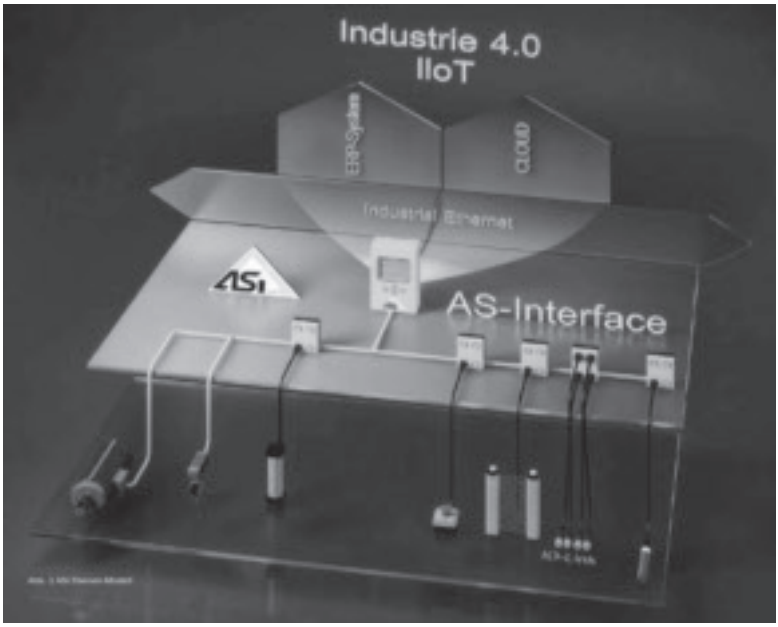


Abb. 22: Industrie 4.0 mit Anbindung der Feldebene durch AS-Interface (Quelle: www.as-interfcae.net).

Bibliographie

Becker, Rolf / Heimbold, Tilo / Telschow, Dietmar et al. (2021): *AS-Interface – Das Kompendium: Technik und Funktion ASi-5*. Gelnhausen: AS-International Association, 164 S., deutsch und englisch.

Goodfellow, Jan / Bengio, Yoshua / Courville, Aaron (2018): *Deep Learning*. Frechen: mitp Verlag. www.mitp.de.

Heimbold, Tilo (1992): *Hierarchisches Feldbusnetz zur prozessnahen Informationsübertragung in Automatisierungssystemen*. Dissertation. Technische Hochschule Leipzig.

Heimbold, Tilo (2015): *Einführung in die Automatisierungstechnik. Automatisierungssysteme, Komponenten, Projektierung und Planung*. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München.

Kabitzsch, Klaus (1987): *Mikrorechner in der Automatisierungspraxis – ausgewählte Probleme der Software- und Hardwaregestaltung*. Berlin: Akademie-Verlag.

Korn, Ulrich / Jumar, Ulrich (1991): *PI-Mehrgrößenregler – praxisgerechter Entwurf, Robustheit, Anwendung*. München/Wien: Oldenbourg Verlag.

Kriesel, Werner (1988): „Elektrische und optische Informationsübertragung / Digitale Übertragung". *Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. Elektrisch, pneumatisch, hydraulisch*, hrsg. von Heinz Töpfer und Werner Kriesel unter Mitarbeit von Günther Liermann, Klaus Littmann, Reiner Nollau, Albrecht Riedel, Gerald Sahner, Manfred Seifart, Johannes Vogel, Roland Wächter, Christian Wartini. Berlin: Verlag Technik, Düsseldorf: VDI Verlag, 5. Auflage, 325–340.

Kriesel, Werner / Rohbeck, Volker / Steinbock, Klaus (1990): „Zuverlässigkeit bitserieller Feldbussysteme in Automatisierungsanlagen". *messen,steuern,regeln* 33/4, 153–156.

Kriesel, Werner / Gibas, Peter / Heimbold, Tilo / Trettner, Mathias / Fussel, Bernd (1992): „Aktuator-/Sensorbusse – Lösungskonzepte und Einsatzerfahrungen". Fachkongress iNet '92 in Sindelfingen, Kongressband, 201–210.

Kriesel, Werner / Madelung, Otto W. (1994/1999): *ASI – Das Aktuator-Sensor-Interface für die Automation*. München, Wien: Hanser Verlag, 2 Auflagen, 213 S., mit CD-ROM, deutsch und englisch.

Kriesel, Werner (1995a): „Leitsysteme mit dezentral verteilter Intelligenz". *Geschichte und Zukunft der Mess- und Automatisierungstechnik,*

hrsg. von Werner Kriesel, Hans Rohr, Andreas Koch. Düsseldorf: VDI-Verlag, 134–143.

Kriesel, Werner (1995b): „Feldbusse und Feldbusnetze der industriellen Kommunikation". *Geschichte und Zukunft der Mess- und Automatisierungstechnik*, hrsg. von Werner Kriesel, Hans Rohr, Andreas Koch Düsseldorf: VDI-Verlag, 144–163.

Kriesel, Werner / Heimbold, Tilo / Telschow, Dietmar (2000): *Bustechnologien für die Automation – Vernetzung, Auswahl und Anwendung von Kommunikationssystemen.* Mitarbeit: R. Eikmeier; D. Lippik; U. Wagner; A. Wölfel. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2. Auflage, mit CD-ROM, 626 S.,

Kriesel, Werner / Sokollik, Frank / Helm, Peter / Seela, Ralph (2009): *KNX/EIB für die Gebäudesystemtechnik in Wohn- und Zweckbau.* Heidelberg: Hüthig Jehle Rehm Verlag, 5. Auflage, 242 S.

Kriesel, Werner (2016): „Zukunfts-Modelle für Informatik, Automatik und Kommunikation". *Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski,* hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski, Werner Kriesel. Frankfurt a. M., Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang Internationaler Verlag der Wissenschaften, 415–430.

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".* Tagung der Leibniz-Sozietät am 13. Dezember 2019 in Berlin. Hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski. (= Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 67). Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 225–247.

Lange, Jörg / Lange, Tatjana (2019): *Mathematische Grundlagen der Digitalisierung. Kompakt, visuell, intuitiv verständlich.* Springer Vieweg, Wiesbaden.

Lunze, Jan (2016): *Künstliche Intelligenz für Ingenieure – Methoden zur Lösung ingenieur-technischer Probleme mit Hilfe von Regeln, logischen Formeln und Bayesnetzen.* Oldenburg, Berlin: De Gruyter, 3. Auflage.

Neumann, Peter, Hrsg. (2018): *Magdeburger Automatisierungstechnik im Wandel – Vom Industrie- zum Forschungsstandort.* Autoren: Christian Diedrich, Rolf Höltge, Ulrich Jumar, Achim Kienle, Reinhold Krampitz, Günter Müller, Peter Neumann, Konrad Pusch, Helga

Rokosch, Barbara Schmidt, Ulrich Schmucker, Gerhard Unger, Günter Wolf. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Institut für Automation und Kommunikation (ifak), Herstellung: Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Calbe (Saale).

Schmertosch, Thomas / Krabbes, Markus (2018): *Automatisierung 4.0 – Objektorientierte Entwicklung modularer Maschinen für die digitale Produktion.* München: Hanser Verlag.

Schulze, Klaus-Peter / Rehberg, Klaus-Jürgen (1988): *Entwurf von adaptiven Systemen. Eine Darstellung für Ingenieure.* Berlin: Verlag Technik.

Speidel, Joachim (2018): *Introduction to Digital Communications. Signals and Communication Technology*. Cham: Springer Verlag.

Zander, Hans-Joachim (2015): *Steuerung ereignisdiskreter Prozesse. Neuartige Methoden zur Prozessbeschreibung und zum Entwurf von Steueralgorithmen*. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 123–127*

Worte des Dankes und der Erinnerung

Werner Kriesel
(Leipzig, MLS)

Hochverehrte Frau Präsidentin Prof. *Gerda Haßler* und sehr geehrte Mitglieder des Präsidiums der Leibniz-Sozietät,
Verehrte Teilnehmer des heutigen Ehrenkolloquiums,

In Sonderheit begrüße ich die Mitglieder der Leibniz-Sozietät Herrn Prof. *Klaus Fuchs-Kittowski* als früheren Gutachter bei meiner Habilitation an der Humboldt-Universität zu Berlin und Herrn Prof. *Ulrich Hofmann*, 20 Jahre Vizepräsident und 1. Vizepräsident der Akademie der Wissenschaften sowie unlängst durch die Leibniz-Sozietät für seine 50-jährige Mitgliedschaft in der Akademie geehrt.

Ihnen allen danke ich sehr herzlich, dass Sie die Einladung der Leibniz-Sozietät so zahlreich und auch so prominent angenommen haben. Und so sage ich meinen besonderen Dank für alles, was ich in den zurückliegenden Jahren von Ihnen als Anregung und Unterstützung erfahren habe.

Bevor ich hierauf näher zurückkomme, möchte ich aber vor allem meiner Familie danken, meiner lieben Frau Christa und unseren beiden Töchtern Kristin und Anke. Meine Frau als Praktische Zahnärztin hatte nicht nur ein schweres Studium zu bewältigen und die nebenberufliche Facharztausbildung, hinzu kamen nach der Wiedervereinigung die besonderen Anstrengungen mit einer eigenen Zahnarztpraxis in einem neuartigen gesamtdeutschen Umfeld. Diese meine Familie, gemeinsam mit unseren Eltern und Großeltern sowie mit dem Ehepartner Alireza und dem Enkel Benjamin, hat stets einen stabilen Hintergrund gebildet, auf den wir uns verlassen konnten.

Übrigens bekamen wir unsere erste Wohnung im Jahre 1967 hier in Berlin in der Storkower Straße 74. Kurz danach siedelte mein Betrieb, das Industrie-Institut für Regelungstechnik, in die Storkower Straße 101 um, und heute treffen wir uns in der Storkower Straße 207. Diese „Digitalwerte" 74, 101 und 207 begleiten nicht nur meine eigene Berufsentwicklung, sondern sind auch mit meinem früheren Mitarbeiter Herrn Dipl.-Ing. *Siegfried Fahrmeyer* – als Repräsentanten der von mir damals geleiteten Entwicklungsabteilung und des bis heute existierenden Teams – eng verbunden. Er erweist mir heute zusammen mit seiner Frau Hannelore die Ehre seiner Anwesenheit.

Für meine fachliche Tätigkeit in den zurückliegenden 60 Jahren war stets entscheidend, welche Unterstützung mir von meinen Lehrern, Kollegen und Mitarbeitern gewährt wurde; denn ich bin ein „Team-Mensch". Daher erinnere ich jetzt exemplarisch an einige meiner Wegbegleiter, zuerst an meine akademischen Lehrer, die Professoren *Heinrich Wilhelmi*, *Heinz Töpfer*, *Siegfried Pilz*, *Christian Döschner* und *Herbert Ehrlich* in Magdeburg sowie *Hermann Ley* und *Klaus Fuchs-Kittowski* in Berlin.

Nicht ohne Stolz nenne ich auch meine sechs Mitarbeiter, die später selbst Professoren geworden sind, und ich danke ihnen zugleich für alles, was ich von ihnen gelernt habe: *Klaus Steinbock*, Gründungsrektor der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) in Leipzig; *Klaus Kabitzsch*, TU Dresden, Fakultät Informatik; *Tilo Heimbold*, HTWK Leipzig, Fakultät Ingenieurwissenschaften; *Peter Helm* als mein Nachfolger in Merseburg; *Klaus Fiedler*, Universität Lüneburg, Institut für Produkt- und Prozessinnovation; *Alexander Chorchordin*, Universität Donezk, deutschsprachige Fakultät für Automatisierung.

Seit meinem 1979 erfolgten Ruf als Professor an die TH Leipzig haben mich in vielen praktischen Fragen von Lehre, Labor und Forschung die Herren Diplomingenieure *Dietmar Telschow* und *Rudolf Ryll* unterstützt. Dies trifft besonders zu auf dem Gebiet „AS-Interface" bei der internationalen Zertifizierungsprüfung sowie der mehrfachen Weiterentwicklung des Systems in Kooperation mit der Industrie während seiner bisher 28-jährigen Marktperiode. Herr *Telschow* hat soeben den Fachvortrag präsentiert – hierfür sage ich meinen besonders herzlichen Dank.

Einen breiten Fachkreis lernte ich auch durch mein Mitwirken in der Kammer der Technik (KDT) in Leipzig als Stellvertretender Bezirks-

vorsitzender, wie auch im KDT-Präsidium sowie im URANIA-Präsidium in Berlin kennen. Auch möchte ich auf die Erfahrungen nicht verzichten, die ich durch vielfältige Kontakte in der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik GMA in Düsseldorf und Frankfurt am Main als Vorstandsmitglied und Stellv. Bundesvorsitzender sowie in der GMA Halle-Merseburg gesammelt habe. Auch diesen Fachkreisen gilt mein besonderer Dank.

Ein allgemeines Dankeschön ergeht an dieser Stelle an alle diejenigen, mit denen ich erfolgreich an meinen Wirkungsstätten hier in Berlin, in Magdeburg, in Leipzig und in Merseburg zusammengearbeitet habe.

Namentlich hervorheben möchte ich an dieser Stelle Herrn *Prof. Heinz Töpfer*, Magdeburg und Dresden sowie Mitglied der Akademie der Wissenschaften Berlin, mit dem ich über 45 Jahre fachlich verbunden war und der stets als mein Förderer, wohlwollender Kritiker und Partner wirkte. Vieles, was ich in meinem beruflichen Wirken erreicht habe, wäre ohne ihn nicht denkbar gewesen.

Weiterhin nennen möchte ich Herrn Prof. *Horst Saalbach*, ehemaliger Präsident von FESTO-USA, den ich bereits im Januar 1990 in Stuttgart und Esslingen kennenlernte und mit dem ich bis heute verbunden bin. Er war es schließlich auch, der die Förderung der Festschrift „Informatik und Gesellschaft" zum 80. Geburtstag unseres Mitgliedes Prof. *Klaus Fuchs-Kittowski* durch die Firma FESTO vermittelt hat. Hieran haben nahezu 50 Autoren, davon etwa die Hälfte Mitglieder der Leibniz-Sozietät, durch Beiträge mitgewirkt. Herrn Prof. *Frank Fuchs-Kittowski* und mir kam zugleich die Ehre als Herausgeber zu.

Auch hebe ich die Herren Prof. *Joachim Speidel* von der Universität Stuttgart und Prof. *Helmut Beikirch* von der Universität Rostock hervor, die uns maßgeblich bei der Grundlagenentwicklung für die neue Generation „AS-Interface 5" unterstützt haben.

Abschließend danke ich dem Laudator Herrn Prof. *Tilo Heimbold* sowie in Sonderheit den drei Autoren des Fachvortrages *Dietmar Telschow*, *Tilo Heimbold* und *Dirk Lippik* als meinen akademischen Schülern. Diese beiden Beiträge lassen zugleich auch erkennen, dass ich in meinem Berufsleben stets dem Innovativen zugewandt war und es auch heute noch bin – wahrscheinlich eine Charaktereigenschaft. Denn wie soll man es sonst erklären, dass ich im Vorfeld meines 80. Geburtstages meinen traditionellen Mercedes gegen ein vollelektrisch angetriebenes

Auto als ein Symbol für Innovation getauscht habe, mit dem wir heute abgasfrei hier angereist sind?

Aus den genannten beiden Beiträgen greife ich hier jeweils nur eine Zahl heraus, um sie zu interpretieren:

1. Bisher wurden über 40 Millionen Systemchips für AS-Interface produziert und eingesetzt. In den letzten Jahren waren es 1,5 Millionen Chips pro Jahr, damit wurden rund sechs Millionen Sensoren und Aktuatoren pro Jahr vernetzt. Warum die Entwicklung und Produktion dieser Mikroelektronik-Chips ab 1993 bei AMS in Dresden begann, wurde im Fachvortrag dargelegt, somit ist AS-Interface gewissermaßen ein spätes Kind der viel gescholtenen DDR-Mikroelektronik. Zugleich ist AS-Interface auch ein später Abkömmling der Akademie der Wissenschaften, indem der letzte Direktor des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse ZKI *Volker Kempe* (MLS) in den Vorstand des Halbleiterherstellers „Austria Mikro Systeme (AMS)" nach Österreich wechselte und hier die interne Standortentscheidung für Dresden mitbewirkte.

Bei den Anwendungen von AS-Interface handelt es sich vorwiegend um die Automatisierung von Anlagen mittlerer Größe, wie zur Abfüllung von Getränken, in der Lebensmittelindustrie, bei der Produktion von Halbzeugen sowie bei Fertigungslinien für Automobile u. a. Geschätzt 80 Prozent aller Produkte, wie sie heute in Supermärkten und Baumärkten angeboten werden, stammen generell aus automatisierten Anlagen.

Rechnet man für eine mittlere automatisierte Anlage rund 1.000 Sensoren und Aktuatoren, so wurden bisher weltweit rund 25 Anlagen pro Arbeitstag mit dem AS-Interface-System vernetzt, davon in Deutschland rund 15 Anlagen pro Arbeitstag. Hiermit wird die Massenanwendung der Automation und Kommunikation sichtbar sowie zugleich die Breitenanwendung in allen nur denkbaren Branchen. Dies erzeugt einen ungeheuren Schub für die Arbeitsproduktivität infolge von Automation und Kommunikation.

Nach meiner Ansicht ist die Arbeitsproduktivität zugleich das entscheidende Kriterium für die weitere Angleichung der Bundesländer, keineswegs die Angleichung von Löhnen und Renten, die ohne adäquate Arbeitsproduktivitätssteigerung nur die Wettbewerbsfähigkeit des Ostens schwächen würde.

2. Wie in der Laudatio erwähnt, habe ich im Laufe der letzten Jahre über 200 Wikipedia-Artikel neu erstellt. Pro Artikel benötigt man insgesamt etwa drei Arbeitstage, der enthaltene Arbeitsaufwand beträgt demnach drei Arbeitsjahre. Auf die Leibniz-Sozietät entfallen über 50 neue Artikel mit dem Gesamtergebnis, dass mehr als 120 unserer Mitglieder auch durch Wikipedia-Artikel repräsentiert werden, also etwa 40 Prozent. Dies dürfte im Vergleich zu anderen Gelehrtengesellschaften und Akademien ein herausragender Wert sein und zum Bekanntheitsgrad des jeweiligen Wissenschaftlers und der Leibniz-Sozietät beitragen.

Abschließend danke ich in Sonderheit vielen Mitgliedern der Leibniz-Sozietät, mit denen ich kooperiere, sowie allen Mitgliedern des Präsidiums für ihren Impuls zu meiner Einbeziehung in dieses Ehrenkolloquium. Nicht zuletzt danke ich dem Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften, Herrn Prof. *Gerhard Pfaff*, für seine gewohnt exakte Vorbereitungsarbeit und für seine angenehme Moderation.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 129–140*

Laudatio für Professor Dr. Werner Ebeling (*1936)

Lutz-Günther Fleischer
(Berlin, MLS)

Ist die Zukunft noch zu retten? So lautet die essentielle Frage, die der Zukunftsforscher *Ossip Flechtheim* mit seinem Buch „Die Megakrise unserer Zeit“ 1987 stellte (Flechtheim 1987).

Angesicht der komplizierten (verflochtenen, verworrenen, unklaren, belastenden, …) syndemischen Situation mit ihren schwerwiegenden sozio-ökonomischen sowie sozio-kulturellen Folgen bewegt diese Frage gegenwärtig mehr denn je eine Mehrheit der Menschen.

Bewusst mit dem Thema der Zukunft eingeleitet, begrüße ich Sie sehr herzlich, verehrte Gäste, sehr geehrte Präsidentin *Gerda Haßler*, liebe Kolleginnen und Kollegen der Leibniz-Sozietät, zu unserem interdisziplinären Ehrenkolloquium. Es folgt dem integrierenden Leitgedanken „Entwicklung und ihre Triebkräfte in Natur, Gesellschaft und Technik“.

Ein besonderes Willkommen und den persönlichen Dank entbiete ich den heute zu Ehrenden: *Heinz-Jürgen Rothe*, *Armin Jähne*, *Werner Kriesel*, *Werner Ebeling* und ihren anwesenden Gattinnen. Auch bei ihnen bedankt sich das Präsidium ausdrücklich für ihre Toleranz hinsichtlich des Wirkens in unserer Sozietät.

Es ist m. E. nicht zielführend, mit einer Laudatio in diesem Auditorium den Lebensweg des zu Ehrenden akribisch nachzuzeichnen. Ein ausführliches, jedem zugängliches Curriculum Vitae findet sich im personalisierten Wikipedia-Eintrag.

Wir ehren das Mitglied unserer Gelehrtengesellschaft, der *Werner Ebeling* seit 1993 als Gründungsmitglied angehört, indem einige seiner

international viel beachteten Leistungen exemplarisch skizziert werden. Von 1977 bis 1989 war er Korrespondierendes Mitglied und von 1989 bis 1992 Ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW).

Lang und ‚gewichtig' ist die Liste wertschätzender hoher und höchster nationaler und internationaler wissenschaftlicher Ehrungen und Auszeichnungen, darunter die Ehrenprofessur der Universität Saratow (2001), der Physikalisch-Technischen Hochschule Moskau (2004) und die Ehrenprofessur der Lomonossow-Universität Moskau (2006).

Die einführende prospektive Frage führt uns in einer emergenten Systemebene direkt zum bestechenden prozessualen holistischen Denken und dem wissenschaftlich wohl erwogenen Handeln des Jubilars.

In dem Essay „Selbstorganisation und Entropie" offerierte und begründete *Werner Ebeling* 1994 eine fundierte Anregung für die Gestaltung von Wegen in die Zukunft (Ebeling 1994). Dabei scheint wesensgemäß seine ganzheitliche, folgerichtig entwicklungsfördernde Denk– und Vorgehensweise auf, die uns heute mehr denn je zum komplexen Weiterdenken bewegen sollte.

Gestützt auf Erfahrungen bei der Modellierung ökologisch-ökonomischer Prozesse lautet der Versuch einer Antwort auf die von *Flechtheim* formulierte Frage folgendermaßen:

> *Eingeschränkte Selbstorganisation und Diversität in Verbindung mit Kreativität und Toleranz* ist ein geeignetes Rezept für die Gestaltung der ökologisch-ökonomischen und sozio-kulturellen Zukunft unserer Welt. Die zu *beachtenden Schranken* ergeben sich aus physikalischer Sicht insbesondere aus der *Begrenztheit der verfügbaren Ströme von wertvoller Energie bzw. von Entropie und aus den Grenzen der Stabilität des ökologischen Gesamtsystems unserer Erde.* (Ebeling 1994: 40–41, Hervorhebungen LGF)

Aus der Sicht der so praktizierten Konzeption und Theorie der Selbstorganisation sind die „*Gefährdungen der Stabilität* des höchst komplexen ökologisch-ökonomischen Systems und ein möglicher Verlust an *Evolutionsfähigkeit*" (Ebeling 1994: 41, Hervorhebungen LGF) mindesten ebenso bedenklich wie die zu starken Belastungen der Ressourcen. Und er warnt: „Eine große potentielle Gefahr stellt ein Verlust der Stabilität unserer natürlichen Atmosphäre dar und ein Zusammenbruch der Stabilität unserer Meere." (Ebeling 1994:.42) Die Verbindungen zum

menschheitsbedrohenden Problemfeld des anthropogenen Klimawandels und zur dringend gebotenen koordinierten Transformation der lokalen und globalen Energiesysteme von den fossilen Vermögensenergien zu den originären natürlichen Einkommensenergien sind evident. *Werner Ebeling* benennt verzweigte und verflochtene Ursachen und skizziert detaillierter zu analysierende Pfade zur bewussten Umgestaltung:

> Die bestehenden Disproportionen sind das Resultat einer *ungebremsten Selbstorganisation* und einer *unkontrollierten Instabilität*, d.h. einem *ungeregelten Chaos. Geregeltes Chaos* schließt auch das bewusste Experiment mit neuen Verhaltensweisen und Formen des Zusammenlebens ein. […] Das von der Instabilität der Trajektorien der *Bewegung (im Sinne von Veränderung überhaupt*) definierte Chaos gehört ebenso zur Realität wie zu den funktionalisierten – darunter den wegweisenden konzeptuellen-nichtlinearen dynamischen Modellen. (Ebeling 1994: 42)

„Der Suchprozess ist seinem Wesen nach stochastisch. Der Irrtum ist eingeplant. Und: *Das Risiko gehört zur Strategie*" (Ebeling 1994: 42). So fundiert der materialistische Dialektiker *Werner Ebeling* seine Einblicke. „Wer Diversität und stochastische Suche durch einen ‚Königsweg' ersetzen will, verkennt die treibende Kraft des chaotischen Elements in der Evolution" (Ebeling 1994: 42).

Treffender lassen sich allgemeingültige wissenschaftlich-weltanschauliche Einsichten kaum ableiten und zugleich unser Leitbild „Theoria cum praxi et commune bonum" ins Werk setzen.

Werner Ebeling hat sich stets dazu bekannt und demonstriert, dass von der Wissenschaft getragene Weltanschauungen theoretische, insbesondere erkenntnistheoretische, methodologische, ethische sowie lebenspraktische Funktionen erfüllen können und diese auch bewusst wahrnehmen sollten. Das muss sich darin ausdrücken, auf welche Art und Weise Menschen ihre Kenntnisse und Vorstellungen strukturieren, daraus ein leistungsfähiges kognitiv-diskursives Gefüge aufbauen, es zunehmend konsolidieren – also erweitern und verflechten, in der Praxis prüfen und final funktionalisieren – letztlich ihr Denken anregen, ihr Handeln motivieren und ihr Tun organisieren. Dafür bietet die Physik seither, aber besonders in ihrer jüngeren Entwicklung zur nichtlinearen Dynamik und ihrer rezenten – auch widersprüchlichen – Ausprägung, die der Jubilar verdienstvoll mitgestaltete, einzigartige Ingre-

dienzien, Potentiale und Chancen.

Die dabei praktizierte Diversität bezüglich verallgemeinerungsfähiger Konzeptionen sowie potenter mathematisch-physikalischer Modellansätze beweist in diesem Forschungsfeld ihre wertvolle erkenntnistheoretische Funktion.

Um im umrissenen Sinn orientierend und motivierend weltanschaulich zu wirken hat *Werner Ebeling* auch in seinen zahlreichen Vorträgen in unserer Sozietät und mit daraus resultierenden Publikationen immer wieder sachgerecht und umfassend wissenschaftlich informiert. Sie bilden den Inhalt von Abhandlungen in Periodika und anderen, in unregelmäßigen Abständen erscheinenden Publikationsreihen, von Beiträgen zu wissenschaftlichen Sammelbänden und Lexika sowie zahlreicher Bücher und wissenschaftliche Buchbeiträge des Autors und Koautors *Werner Ebeling*.

Expliziert und in zahlreichen Verbindungen finden sich die vorn angeführten Schlüsselbegriffe und Kernthesen in den inzwischen ca. 700 Publikationen des Jubilars in Deutsch, Englisch und Russisch. Sie gehören zur Theoretischen und Statistischen Physik und umfassen die Thermodynamik irreversibler Prozesse, die Theorie der Selbstorganisation, der evolutionären Prozesse, stochastische Prozesse, die Quantenstatistik sowie die Theorie nichtidealer Plasmen, der Flüssigkeiten und der Elektrolyte und die chemische Reaktionstheorie. Zum Prägenden zählt das noch lange nicht ausgeschrittene Problemfeld der Unbestimmtheit, Vorhersagbarkeit, der Kontingenz und der *bilanzierbaren polyfunktionalen Entropie*. Auf dem Erkenntnisniveau von 2015 beschreibt *Werner Ebeling* die – ursprünglich rein thermodynamische Zustands- und Prozessgröße – *Entropie* mit einer pointierten Allegorie: „*Entropy is like head of Janus*!" (Ebeling 2015, slide 4) Dem mehrdeutigen *Evaluationsparameter* ordnet er drei *Grundfunktionen* zu: *ein Maß für Unordnung und Komplexität,* für den *Wert der Energie* (in puncto Arbeit) und für *die Menge an Informationen* (vgl. Ebeling 1992).

Die ohne nähere Charakterisierung einbezogene Kategorie *Information* führt zu einer weiteren grundsätzlichen Schwierigkeit in der Wissenschaft, zu einem Trilemma (Fleissner/Hofkirchner 1995), das hier nicht erörtert werden kann. Auch zur Information hat der Jubilar fundamentale und differenzierte Erkenntnisse dargelegt.

Er sowie seine hoch motivierten Mitarbeiter und Forschungspartner befassten sich über mehrere Dezennien, „Theorie und Modell

basiert", systematisch mit grundlegenden konzeptionellen Problemen, die aus den *makroskopischen und mikroskopischen Aspekten des zweiten* Hauptsatzes der Thermodynamik und der mit ihm korrelierten *Kategorie Entropie* resultieren.

Eine kurze einordnende Erläuterung der Ziel-Mittel-Relationen möchte diese Leistungen veranschaulichen und wissenschaftlich daran Interessierte anregen.

Einige Fakten:

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik spielt in der Geschichte der Wissenschaft eine sehr weit über seinen ursprünglichen Geltungsbereich hinausgehende, evolvierende Rolle. Innerhalb der Physik beruhen die Arbeiten von *Ludwig Boltzmann* (1844–1906) zur kinetischen Theorie, die Entdeckung der Quantentheorie durch *Max Planck* (1858–1947) ebenso wie die Theorie der spontanen Emission von *Albert Einstein* (1879–1955) auf dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.

Rückschauend überrascht auch das Darüberhinausgehende wegen der Persistenz der Physik (eben der „Natürlichen") eigentlich nicht. Schon das elementare Problem der Zeit in Physik, Chemie, Biologie (und noch allgemeingültiger) ist eng mit bestimmten Fassungen des zweiten Axioms der Thermodynamik verflochten. Die nachhaltigen Fortschritte resultierten aus seinem *Bezug auf offene Systeme*. Sie ermöglichen im Kontakt mit der Umgebung (über Stoff- und Energieströme) den entscheidenden Export der Entropie ($đ_eS < 0$) bzw. vice versa den Import arbeitsfähiger – freier – Energie. Zur Entropieproduktion tragen nur die irreversiblen Prozesse bei.

In seiner Nobel-Vorlesung „Time, Structure and Fluctuations" resümierte 1977 *Ilya Prigogine* (1917–2003; auswärtiges Mitglied der AdW seit 1980), dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik auch hundertfünfzig Jahre nach seiner Formulierung vielmehr ein Programm sei als eine wohldefinierte Theorie im üblichen Sinne, da nur etwas über das Vorzeichen der *Entropieproduktion* gesagt wird ($đ_iS > 0$) Selbst der Gültigkeitsbereich dieser Ungleichung sei nicht spezifiziert. Dies war lange Zeit einer der Hauptgründe, warum die Anwendungen der Thermodynamik im Wesentlichen auf Gleichgewichtszustände beschränkt blieben.

> Um die Thermodynamik auf Nicht-Gleichgewichtsprozesse auszudehnen, benötigen wir einen *expliziten Ausdruck für die Entropieproduktion*. Fortschritte in dieser Richtung wurden über die Annahme erzielt, dass die Entropie auch außerhalb des Gleichgewichts nur von den denselben Variablen wie im Gleichgewicht abhängt. Dies ist die *Hypothese des „lokalen" Gleichgewichts* [assumption of „local" equilibrium] (Prigogine 1977: 265, Hervorhebun-gen und Übersetzung LGF)

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass derartige Nicht-Gleichgewichtszustände in offenen Systemen fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht neuartige, kooperative Prozesse generieren und diese irreversiblen Prozesse zu einem neuen Typ dynamischer Zustände der Materie, den so genannten „dissipativen Strukturen", führen können. *Werner Ebeling* verdanken wir zahlreiche evidenz- und theorienbasierte, dies belegende Forschungsergebnisse.

Es sind bemerkenswerte und höchst unerwartete, ja paradoxe Tatsachen, dass Fluktuationen und Raum-Zeit-Strukturen, die sich aus den Instabilitäten ergeben, zu Phänomenen wie der „Ordnung durch Fluktuationen" führen, d.h. funktional organisierte Strukturen spontan selbst erzeugen, also zu Quellen der Ordnung mutieren.

Prigogine folgend ist das thermodynamische Nichtgleichgewicht die wichtigste Quelle von ubiquitären Ordnungsbildungen in der Natur. Im Abstract seines Nobel-Vortrags betonte er:

> Wir glauben, dass wir erst am Anfang einer neuen Entwicklung der theoretischen Chemie und Physik stehen, in der thermodynamische Konzepte eine immer größere Rolle spielen werden. (Prigogine 1977: 284, Übersetzung LGF)

Sie haben das Weltbild bereits verändert.

Das belegen auf eine außerordentlich beeindruckende Weise auch die Arbeiten *Werner Ebeling*s und seiner „Schule", die mit nichtlinearer Physik sowie Theorie der Selbstorganisation und Evolution nur schematisch konturiert werden. Die Konzepte der Selbstorganisation, der Synergetik und nichtlinearer Prozesse begründen – auch nach ihrem Bekunden – tatsächlich Neues: *Die Physik der Komplexität*.

Das herausragende Paradigma der *Selbstorganisation* beschreibt nach ihrem Verständnis fern vom Gleichgewicht verlaufende Prozesse, deren systemimmanente Triebkräfte spontan zu kohärenten komplexeren Strukturen führen. Die Evolution wird als Folge der basalen Selbstor-

ganisationsschritte erklärt. *Ebeling* und *Scharnhorst* schreiben:

> Das Besondere der *Physik der Selbstorganisation* liegt darin, dass es sich dabei um *allgemeine, abstrakte Theoriengefüge* handelt, die aus Beobachtungen in der Natur entstanden sind, in ihrer weiteren Ausbreitung aber eine *Allgemeingültigkeit beanspruchen*, die jenseits der Dinglichkeit von Naturprozessen liegt. (Ebeling/Scharnhorst 2014: 4–5, Hervorhebung LGF)

Die allgemeingültigen Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten des Zusammenwirkens der bestimmenden Systemelemente sind unabhängig von ihrer speziellen Natur und sie unterliegen einer einheitlichen mathematischen Beschreibung der generierten räumlichen, zeitlichen, raumzeitlichen und funktionalen Strukturen.

Heute ist der Begriff *Selbstorganisation* mit *Spezifikationen* in zahlreichen und unterschiedlichsten Wissenschaftsgebieten verbreitet und durchaus hilfreich. Die *Selbstorganisation* bildet m. E. das höchste Niveau der hierarchischen *Organisationsprinzipien*, weil sie das Systemverhalten *intrinsisch formiert* und *emergiert*. Sie unterscheidet sich demgemäß von der *Organisation* dadurch, dass in deren Ebene die Systemstruktur, über *extrinsische Einflüsse initiiert,* so gestaltet wird, dass sie operational bestimmte Funktionen wahrnehmen, d.h. die Funktionalitäten und die Resilienz der Ganzheit sichern kann.

Die Gruppe um *Werner Ebeling* und die daraus in beträchtlicher Anzahl hervorgegangenen Professoren nutzen Konzeptionen, Modellierungsansätze und Simulationen, deren Wurzeln vor allem in der statistischen, theoretischen Physik liegen. Eine kleine Auswahl von Publikationen illustriert die inhaltliche Fülle und die Vielzahl der wissenschaftlichen Kooperationen.

Das Oeuvre des sehr erfolgreichen internationalen wissenschaftlichen „Netzwerkers“ *Werner Ebeling* besticht nicht nur wegen der inhaltlichen Vielfalt sowie seines Ideen- und Formenreichtums, sondern überdies hinsichtlich seiner kompetenten systemisch-relationalen Denkweisen, der neuen methodischen Ansätzen und der Metakompetenzen.

Anerkennung verdient, wer leistet, was er vermag. Höchste Anerkennung gebührt dem, der wahrhaft Neues gestaltet.

Ein im Deutschen geflügeltes Wort sagt: „Honig sammeln, das ist bloß Fleiß, aber Waben bauen, das verdient unsere Anerkennung“.

Bienen bauen neue Waben nur dann, wenn es notwendig ist, weil sich deren Errichtung als energetisch und organisatorisch sehr aufwendig erweist. [Nach Imker-Angaben enthält eine Naturwabe ca.70 g Wachs. Für die Produktion eines Kilogramms Wachs müssen die Bienen eine Energie- und Stoffmenge aufwenden, die umgerechnet 4 bis 10 kg Honig entspricht. Damit sich die Bienen den Bau ‚leisten' können, muss also ausreichend Tracht eingetragen werden.]

Mit der Waben-Metapher sind in der Wissenschaft analog der arbeitsintensive Aufbau und die Konsolidierung von ‚Schulen' und die Theorienbildung reflektiert.

Sich selbst zur renommierten Rostocker Schule um *Hans Falkenhagen* (1895–1971) bekennend, hat *Werner Ebeling* eine funktionierende, zeitgemäß in Teilen virtuelle Schule geschaffen. Hilfreich waren dabei mindestens acht, in der Regel drei- bis sechsmonatige internationale Gastprofessuren, die sowohl die *Lehre* mit Vorlesungen und Vorträgen als auch die *Forschungskooperation* zu aktuellen Themen einschlossen und zu gemeinsamen *Publikationen* mit international geschätzten Physikern führten (vgl. Tabelle 1).

1991 und 1992 arbeitete er als Gastprofessor am Lehrstuhl des Begründers der Synergetik *Hermann Haken* (*1927) in Stuttgart, am Lehrstuhl von *Ilya Prigogine* an der Universität Brüssel und am Lehrstuhl von *Gert Eilenberger* (1936–2010), dem langjährigen Leiter des Instituts für Festkörperforschung (IFF) des Forschungszentrums Jülich.

Falkenhagen, Hans, unter Mitwirkung von Werner Ebeling (1971): *Theorie der Elektrolyte*. Hirzel Verlag, Stuttgart, 90 Seiten.

Ebeling, Werner &. Klimontovich, Yuri L (1984): *Selforganization and Turbulence in Liquids*. Leipzig: Teubner-Verlag. 196 Seiten.

Ebeling, Werner & Peschel, Manfred (Eds.) (1985): *Lotka-Volterra-Approach to Cooperation and Competition in Dynamic Systems*. Berlin: Akademie-Verlag. 271 Seiten.

Ebeling, Werner &. Ulbricht, Heinz (Eds.) (1986): *Selforganization by Nonlinear Irreversible Processes*. Berlin-Heidelberg-New York, 231 Seiten.

Ebeling, Werner & Ulbricht, Heinz (Eds.) (1989): *Irreversible Processes and Selforganization*. Leipzig: Teubner-Verlag. 256 Seiten.

Ebeling, Werner & Engel, Andreas & Feistel, Rainer (1990): *Physik der Evolutionsprozesse*. Berlin Akademie-Verlag, 371 Seiten.

Ebeling, Werner &. Engel, Harald & Herzel, Hanspeter (1990): *Selbstorganisation in der Zeit*. Berlin: Akademie-Verlag. 205 Seiten.

Ebeling, Werner &. Peschel, Manfred & Weidlich, Wolfgang (Eds.) (1992): *Models of Selforganization in Complex Systems, MOSES*. Berlin: Akademie-Verlag. 336 Seiten

Ebeling, Werner & Rompe, Robert & Treder, Hans Jürgen (1988): *Zur großen Berliner Physik*. Leipzig: Teubner-Verlag, 88 Seiten.	Ebeling, Werner & Feistel, Rainer (1994): *Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution*. Heidelberg-Berlin-Oxford: Spektrum Akademischer Verlag. 251 Seiten.
Ebeling, Werner & Peschel, Manfred (Eds.) (1989): *Dynamical Networks*. Berlin: Akademie-Verlag. 221 Seiten.	Ebeling, Werner & Freund, Jan & Schweitzer, Frank (1998): *Komplexe Strukturen: Entropie und Information*. Stuttgart-Leipzig: B.G. Teubner, 265 Seiten.
Ebeling, Werner &. Feistel, Rainer (1989): *Evolution of Complex Systems*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften. Dortrecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 248 Seiten.	Ebeling, Werner & Romanovsky, Yury Mikhail & Schimansky-Geier, Lutz (Eds) (2003): *Stochastic Dynamics of Reacting Biomolecules*. Singapore: World Scientific Publ. Comp., 310 Seiten.
Ebeling, Werner &. Rainer Feistel, Rainer (1989): *Chaos, Ordnung und Information*. Leipzig-Jena-Berlin: URANIA-Verlag, 118 Seiten. Frankfurt am Main-Thun: Verlag Harri Deutsch (2. Aufl.1992).	Haken, Hermann &. Plath, Peter J. & Ebeling, Werner &. Romanovsky, Yuri M. (2016): *Beiträge zur Geschichte der Synergetik: allgemeine Prinzipien der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. Wiesbaden: Springer Spektrum, XX+328 Seiten.

Tabelle 1: Illustrierende Auswahl von Publikationen

Kooperativität ist für Dich, lieber Werner, nicht nur ein wesentliches Element der Selbstorganisation, die jegliche Evolution mit bewirkt, sondern in derselben Weise eine Maxime Deines Handelns in der scientific community. Die Mitglieder der Leibniz-Sozietät konnten das immer wieder erleben. Dafür dankt Dir besonders dieses Auditorium.

Werner Ebeling und *Rainer Feistel* haben Ihren Vortrag anlässlich meines 80. Geburtstag zum Thema: *Fehlerhaftigkeit in der Evolution und bei der Entstehung des Lebens* nach meiner Erinnerung mit der Sentenz nach Edward O. Wilson (1929–2021) eingeleitet: *„Wir ertrinken in Wissen und dürsten nach Einsicht."* Das protokolliert der berühmte Entomologe und Entwicklungsbiologe *Wilson* in seinem, erwartungsgemäß in einigen Folgerungen zur Evolutionstheorie umstrittenen, Buch „Die Einheit des Wissens" (Wilson 1998). Ebenso wahr wie die zitierte Aussage dürfte die verlautbarte Erkenntnis sein, die *Werner Ebeling* in praxi bestätigt:

> Der „*ideale Wissenschaftler* denkt wie ein *Dichte*r, arbeitet wie ein *Buchhalter* und schreibt, sofern er diese Begabung auch noch mitbekommen hat, wie ein *Journalist*." […] Er „muss gescheit genug

> sein, um erkennen zu können, was getan werden muss, darf aber nicht so gescheit sein, dass er sich dabei langweilt. (Wilson 1998: 78, Hervorhebungen LGF)

Für das individuelle und gesellschaftliche Leben darf (etwas vordergründig) behauptet werden: Leben agiert intelligent, indem es gesetzmäßig auf dem Rand des Chaos balanciert. Andernfalls ergäben sich kaum (moderate bis umwälzende) Veränderungsmöglichkeiten in lebenden Systemen. Im Ringen um eine neue zukunftstragende, sich nicht nur selbstorganisierende, sondern auch bewusst mitgestaltete, lebenspraktische Normalität werden der Wissenschaft mit der Vielfalt ihrer Funktionen und Disziplinen sowie dem kumulierten dynamischen Wissen und den Kompetenzen aller Akteure noch exponiertere Funktionen auferlegt. Dazu ist es nötig, dass konstitutive Teile des Wissenschaftssystems sich noch zweckdienlicher aufeinander zubewegen und gezielter arbeitsteilig und synergetisch kooperieren (u. U. solche emergenten Hybride bilden wie die hochpotente Theorie der Selbstorganisation und der verallgemeinerten Evolution), um jene Erkenntnisse zu gewinnen, Ideen zu finden und die Ethik auszugestalten, die die Welt braucht, um ihre komplizierten Probleme der weitblickenden Lebensgestaltung zu lösen. Trotz steigender Resilienz lässt sich allerdings die präcoronare „Normalität" nicht restaurieren.

Werner Ebeling stellt heraus: „*Geregeltes Chaos* schließt auch das bewusste Experiment mit neuen Verhaltensweisen und Formen des Zusammenlebens ein" (Ebeling 1994: 42). Kontextuell fordert er Diversität der Arten und Bewegungsformen, der Denk- und Lebensweisen, verantwortungsbewusste Kooperativität und Toleranz. Eine logische Folgerung lautet: Es ist an der Zeit, uns als bio-psycho-soziale Spezies in einem dynamischen, relationalen sozialen, sozio-technischen sowie kulturellen Gefüge selbst noch besser zu erkennen, zu verstehen und sicherer zu orientieren. So disponiert wird es entscheidend sein, mit der zunehmenden Komplexität und der zugleich wachsenden Diversität und Kooperativität unserer intellektuellen Werkzeuge, technischen Mittel und Technologien als gleichermaßen biotische sowie verantwortungsbewusste soziale und kulturelle Spezies und als Gesellschaft noch kompetenter koordiniert zu handeln und dabei selbstbeschränkend, aber souverän, die „thermodynamischen Kosten" zu optimieren.

Dankbar möchten wir, lieber Werner, Dein langjähriges Engagement für die Akademie der Wissenschaften der DDR und für die Leib-

niz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin würdigen, die in logischer Konsequenz die reichen Traditionen aufgenommen hat und fortführt. Erfolgreich bemühst Du Dich um den Erhalt und die Erweiterung der hochqualifizierten Mitgliedschaft. Als Sozietät verdanken wir Dir immer wieder von der persistenten dynamischen Physik irreversibler Prozesse sowie der nichtlinearen Dynamik induzierte und von Deinen überzeugenden konzeptuellen Modellen getragene Anregungen auf sich entwickelnden interdisziplinären Wissenschaftsgebieten in Verbindung mit fachübergreifenden komplexen Problemstrukturen von besonderer wissenschaftlicher, technischer und gesellschaftlicher Bedeutung.

Wir begegneten uns erstmals 1979 unmittelbar nach Deinem Ruf als Ordentlicher Professor auf den Lehrstuhl für Statistische Physik an die Humboldt-Universität zu Berlin. Unsere freundschaftliche Verbindung war seitdem niemals unterbrochen und für mich stets fördernd und fordernd zugleich. Insbesondere bei meinen Arbeiten zur kühlungsinduzierten, rheologisch kontrollierten und quantifizierten, entropisch verallgemeinert bewerteten Strukturbildung sowie zum komplexen Strukturwandel in Biopolymeren konnte ich die neuen Konzeptionen bestens nutzen.

Über lange Jahre verbanden uns zudem vorzugsweise problemorientierte Aktivitäten bei der öffentlichkeitswirksamen Verbreitung fortschrittsfördernder wissenschaftlicher Erkenntnisse im Vortragssaal, in der Presse, im Rundfunk und Fernsehen. Auch als Mitglied des gewählten Präsidiums der URANIA der DDR, von 1986–1990 des Büros des Präsidiums und als Vorsitzender der Sektion Physik beim Präsidium, hast Du in hervorragender Weise die humanistische „Bringe-Pflicht" der Wissenschaft wahrgenommen, was mit der höchsten Auszeichnung der Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse, der Ernst Haeckel-Medaille, gewürdigt wurde.

Sehr gern nutzen wir den heutigen Anlass, lieber Werner, um Dir alles Gute, die bestmögliche Gesundheit, Freude am selbstbestimmten Schaffen und die Kraft dafür, eine lang anhaltende schöpferische, anregende und auch uns ermutigende Teilnahme und Teilhabe am wissenschaftlichen, kulturellen und dem damit verbundenen gesellschaftlichen Leben zu wünschen. Weder die verführerischen Gestade der Ostsee in und um Rostock noch die Idylle von Born am Darß konnten Deine organischen Beziehungen zu Berlin beeinträchtigen. Auch diese Diversität beherrschst Du perfekt; und so soll es noch lange Zeit bleiben.

Bibliographie

Ebeling, Werner (1992): „On the relation between various entropy concepts and the valoric interpretation". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 182/1, 108–120. https://doi.org/10.1016/0378-4371(92)90232-F

Ebeling, Werner (1994): „Selbstorganisation und Entropie in ökologischen und ökonomischen Prozessen". *Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie*, hrsg. von Frank Beckenbach, Hans Diefenbacher. Metropolis: Marburg, 29–45.

Ebeling, Werner (2015): *Selforganization of Information and Value-Relation to Physics and emergence. Powerpoint-Präsemtation*. https://sciforum.net/manuscripts /2927/slides.pdf

Ebeling, Werner / Scharnhorst, Andrea (2014): *Modellierungskonzepte der Synergetik und Theorie der Selbstorganisation*. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1412/1412.2399.pdf

Flechtheim, Ossip Kurt (1987): *Ist die Zukunft noch zu retten?* Hamburg: Hoffmann und Campe.

Fleissner, Peter / Hofkirchner, Wolfgang (1995): „In-formatio revisited. Wider den dinglichen Informationsbegriff". *Informatik Forum* 8/3, 126–131. http://igw.tuwien.ac.at/igw/menschen/hofkirchner/papers/InfoConcept/Informatio_revisited/in-format.html

Prigogine, Ilya. (1977): *Nobel Lecture: Time, Structure and Fluctuations*. https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/prigogine-lecture.pdf

Wilson, Edward O. (1998): *Die Einheit des Wissens*. Siedler: Berlin.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin
153 (2022), 141–160

Strukturbildung und Kipppunkte in Ökosystemen und Klima

Ulrike Feudel
(Oldenburg)

Abstract
The study of the dynamics of complex natural systems, especially with regard to understanding climate change and its consequences, requires the development of new methodological approaches that allow observed phenomena in nature to be modeled, analyzed, and predicted. In particular, explaining tipping phenomena, in which a sudden, unexpected change in the dynamics of a system occurs in response to a perturbation, is a challenge for science. Such tipping phenomena affect all parts of the climate system, such as ocean circulation or polar ice cover, as well as ecosystems such as tropical coral reefs. Four different tipping mechanisms are discussed and substantiated with corresponding examples from climate and ecosystem research. The research contributions of Werner Ebeling, who laid important foundations for today's study of tipping processes through the development of the physics of self-organization and evolution, are emphasized again and again.

Resümee
Die Untersuchung der Dynamik komplexer natürlicher Systeme erfordert insbesondere im Hinblick auf das Verständnis des Klimawandels und seiner Folgen die Entwicklung neuer methodischer Zugänge, die es erlauben, beobachtete Phänomene in der Natur zu modellieren, zu analysieren und vorherzusagen. Insbesondere die Erklärung von Kippphänomenen, in denen eine plötzliche, unerwartete Änderung der Dynamik eines Systems als Antwort auf eine Störung auftritt, ist eine Herausforderung für die Wissenschaft. Solche Kippphänomene betreffen alle Teile des Klimasystems, wie z. B. die Ozeanzirkulation oder die Eisbedeckung der Pole wie auch Ökosysteme wie z. B. tropische Korallenriffe. Es werden vier unterschiedliche Kippmechanismen disku-

tiert und mit entsprechenden Beispielen aus Klima- und Ökosystemforschung belegt. Dabei werden immer wieder die Forschungsbeiträge von Werner Ebeling betont, der durch die Entwicklung der Physik der Selbstorganisation und Evolution wichtige Grundlagen für die heutige Untersuchung von Kippvorgängen gelegt hat.

Keywords/Schlüsselwörter
Ecosystems, climate, dynamics of complex systems, multistability, tipping phenomena, resilience
Ökosysteme, Klima, Dynamik komplexer Systeme, Multistabilität, Kippphänomene, Resilienz

1 Einführung in die Dynamik komplexer Systeme

Viele natürliche Phänomene wie z. B. die Ausbildung von Wirbeln im Ozean, die Grünverschiebung von Laserlicht, die Synchronisation schwach gekoppelter Pendel oder das Umkippen von Seen werden durch die nichtlineare Wechselwirkung unterschiedlicher physikalischer, chemischer oder biologischer Größen hervorgerufen. Diese Größen können für Ozeanströmungen z. B. die Komponenten des Geschwindigkeitsfeldes in alle Raumrichtungen sein, oder für ökologische Systeme die Häufigkeiten aller vorhandenen unterschiedlichen Arten. Die theoretische Modellierung komplexer Systeme in der Natur basiert auf der mathematischen Verknüpfung dieser Größen in Form von nichtlinearen Zusammenhängen häufig durch gewöhnliche oder partielle Differentialgleichungen, die die Entwicklung der betrachteten physikalischen, chemischen oder biologischen Größen in Raum und Zeit beschreiben. Die Dynamik solcher komplexen Systeme ist durch drei wesentliche Eigenschaften geprägt: (1) Die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten und/oder der Antrieb des Systems sind im Allgemeinen durch Nichtlinearitäten gekennzeichnet, die das Verhalten der Systeme besonders interessant machen. (2) Diese Nichtlinearitäten führen dazu, dass solche Systeme eine besonders komplexe, teilweise nicht vorhersagbare zeitliche Dynamik hervorbringen oder die Fähigkeit besitzen, spontan zeitliche, räumliche oder raum-zeitliche Strukturen zu bilden. (3) Der Einfluss von zufälligen Fluktuationen, die in natürlichen Systemen unvermeidbar sind, führt dazu, dass die Dynamik sowohl durch deterministisches als auch zufälliges Verhalten bestimmt wird. Alle diese Eigenschaften wurden von *Werner Ebeling* (*1936) be-

reits in den 1970er und 1980er Jahren herausgearbeitet, als die Untersuchung komplexer Systeme noch ganz am Anfang stand (Ebeling 1976; Ebeling/Feistel 1982) (Abb. 1). Er ist damit einer der Pioniere, der das Fachgebiet Nichtlineare Physik als neue, insgesamt sehr interdisziplinär orientierte Forschungsrichtung etabliert hat. Er hat eine ganze Genera-tion von Physikern nachhaltig beeinflusst, indem er eine Schule ins Leben gerufen hat, die seine Ideen der Physik der Selbstorganisation und Evolution in viele Fachgebiete hineingetragen hat. Gleichzeitig wurden ähnliche Ideen von *Hermann Haken* (*1927) entwickelt (Haken 1977). Eine sehr interessante, kurze Geschichte der Entwicklung der Ideen zur Selbstorganisation und Evolution bzw. der Synergetik und seinen Anwendungen in Physik, Chemie und Biologie wurde von den Hauptakteuren im Jahr 2016 veröffentlicht (Haken et al. 2016).

Dieser Beitrag beleuchtet ein in der heutigen Zeit des zunehmenden Klimawandels sehr relevantes Forschungsgebiet, das die Ideen von Werner Ebeling in vielfältiger Weise aufgreift und wieterentwickelt. Seine Arbeiten, die in vielfältigen Publikationen in Fachzeitschriften und Büchern (Abb. 1) niedergelegt sind, bilden die Grundlage für das Verständnis der hier diskutierten Phänomene in Klimadynamik und Ökosystemen. Im Mittelpunkt steht dabei die adäquate Beschreibung der Dynamik von Systemen, deren zeitliche bzw. raumzeitliche Entwicklung dem Einfluss äußerer Antriebskräfte, wie z. B. dem Klimawandel, unterliegt. Diese Dynamik kann dabei bei fixierten Umweltbedingungen ganz unterschiedliche Formen annehmen: Das System kann in ein Gleichgewicht kommen, eine periodische oder quasiperiodische Bewegung ausführen oder auch durch eine chaotische Dynamik charakterisiert werden. Letztere ist dadurch gekennzeichnet, dass kleinste Änderungen in den Anfangsbedingungen einen komplett anderen zeitlichen Verlauf zur Folge haben würden (Argyris et al. 2017). Für ein räumlich ausgedehntes System würde man homogene Zustände, wo alle Komponenten homogen im Raum verteilt sind, zeitunabhängige inhomogene Verteilungen (stationäre Muster) oder raumzeitlich veränderli-che Muster beobachten (Hoyle 2010).

Abb. 1: Ausgewählte Bücher von Werner Ebeling mit unterschiedlichen Koautoren, die die wissenschaftlichen Grundlagen für die Theorie der Physik der Selbstorganisation und Evolution darlegen.

Von besonderem Interesse sind jedoch plötzliche Änderungen der Dynamik, wenn entweder einer der intrinsischen Parameter des Systems oder der äußere Antrieb so verändert werden, dass kritische Schwellwerte überschritten werden. Solche Änderungen werden in der Klimadynamik als Kipppunkte (Ashwin et al. 2012), in der Ökologie als Regimeshifts (Scheffer et al. 2001) und in der Mathematik als Instabilitäten (Guckenheimer/Holmes 1983) bezeichnet. Betrachtet man als Beispiel aus der Umweltphysik den atlantischen Teil der thermohalinen Ozeanzirkulation – eine großräumige, durch Dichteunterschiede angetriebene Zirkulation – dann kann diese z. B. im heutigen Zustand sein, in dem permanent Wärme aus dem Süden in die nördliche Hemisphäre transportiert und dort an die Atmosphäre abgegeben wird oder aber in einem Zustand sein, wo diese Zirkulation stark geschwächt ist oder gar ganz zum Erliegen kommt, wie es aus paläoklimatischen Untersuchungen bekannt ist (Rahmstorf 2002). Ein Kipp-Übergang vom jetzigen in den anderen Zustand, der langfristig mit einer Abkühlung des Klimas in West- und Nordeuropa verbunden wäre, könnte dann auftreten, wenn der Antrieb durch den globalen Klimawandel verändert würde (Rahmstorf 1995). Ähnlich drastische Übergangsphänomene beobachtet man in Ökosystemen, wo Klima- oder Landnutzungsänderungen zu einem Verlust von Arten oder gar zum Zusammenbruch ganzer Ökosysteme führen können. Gegenstand der Forschung ist es herauszufinden, unter welchen Bedingungen ein solcher Übergang stattfinden würde und welche Mechanismen für diese Kippphänomene verantwortlich sind.

2 Multistabilität als Voraussetzung für Kippphänomene

Das Auftreten von Kippphänomenen setzt in vielen Fällen die gleichzeitige Existenz mehrerer verschiedener stabiler Zustände eines Systems bei gleichen Umweltbedingungen voraus. Der Begriff Multistabilität wird von *Ebeling & Feistel* so erklärt:

> Unter Bistabilität bzw. Multistabilität verstehen wir die potentielle Fähigkeit eines Systems, bei fixierten Umweltbedingungen zwei oder mehrere stabile Zustände anzunehmen. Der real vor-

> liegende Zustand hängt dann von der Vorgeschichte ab, und durch spezielle Einwirkungen können Übergänge von einem stabilen Zustand in einen anderen ausgelöst werden. (Ebeling/Feistel 1982: 166)

Bi- und Multistabilität kann man am besten mit einer Stabilitätslandschaft veranschaulichen (Abb. 2 links). Die stabilen Zustände liegen in den Tälern, während die instabilen Zustände auf den Bergen liegen. Stabilität bedeutet hier, dass kleine Störungen vom System ausgedämpft werden und das System als Antwort auf eine solche Störung in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt (Abb. 2 Mitte). Anders ausgedrückt, durch die Störung wird der stabile Zustand aus dem Tal ausgelenkt und „rollt" auf Grund der Steilheit der Wände, die der Stärke der rücktreibenden Kräfte entspricht, wieder zurück. Auf dem Berg, der einem instabilen Zustand entspricht, braucht man nur eine ganz kleine Störung und der Zustand „rollt" entweder auf die eine oder auf die andere Seite des Berges, je nach Richtung der Störung (Abb. 2 rechts).

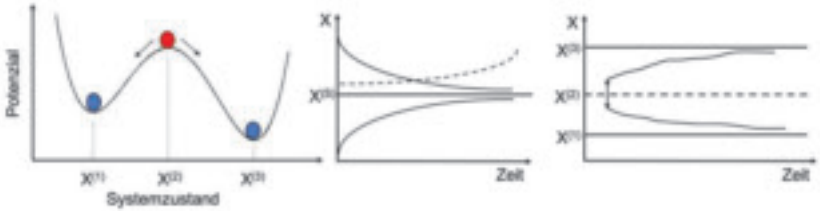


Abb. 2: Bistabiles System, das unter fixierten Umweltbedingungen zwei stabile Zustände besitzt: (a) Darstellung als Stabilitätslandschaft (Potenzial), in der die stabilen Zustände (blaue Kugeln) in den Tälern, die instabilen Zustände (rote Kugeln) auf den Bergen eines Potenzials liegen; (b) Darstellung des zeitlichen Verlaufs von Störungen eines stationären, d. h. zeitunabhängigen Zustands $X^{(S)}$: abklingende Störungen (durchgezogene Linien) und eine Störung, die sich aufschaukelt (gestrichelte Linie); (c) Störungen des instabilen Zustandes $X^{(2)}$ in unterschiedliche Richtungen führen zu unterschiedlichen stabilen Langzeitzuständen $X^{(1)}$ und $X^{(3)}$.

Wie bereits die Definition von *Ebeling & Feistel* (Ebeling/Feistel 1982) aussagt, kann es unter bestimmten Einwirkungen, also Störungen, zu Übergängen zwischen den stabilen Zuständen kommen. Diese sogenannten kritischen Übergänge sind mit einer relativ plötzlichen Änderung des Systemverhaltens verknüpft, weil das System von einem stabilen Zustand in einen anderen übergeht, d. h. das System kippt. Diese Übergänge werden auch als Kippphänomene bezeichnet und spielen

gerade in der Klimadynamik und der Antwort von Ökosystemen auf den Klimawandel eine herausragende Rolle. Handelt es sich bei einem kippenden System um ein Teilsystem des Klimasystems, spricht man dann von einem Kippelement. Im Laufe des letzten Jahrzehnts wurden eine ganze Reihe von Kippelementen identifiziert, bei denen potenziell im weiteren Verlauf des Klimawandels ein Kippen zu erwarten ist (Lenton et al. 2008). Dazu gehören die thermohaline Ozeanzirkulation, das Grönlandeisschild, das arktische Meereis, das El Niño Phänomen im Pazifik sowie das Westantarktische Eisschild als physikalische Systeme (Strömungssysteme und Eissysteme), der Regenwald im Amazonasgebiet, die tropischen Korallenriffe sowie die nördlichen Nadelwaldgürtel als ökologische Systeme (Abb.3).

In vielen Systemen ist das Kippen damit verknüpft, dass ein Zustand, der die bisherige, möglicherweise gewünschte Funktion des Systems durch einen Zustand ersetzt, der die ursprüngliche Funktion nicht mehr in vollem Umfang erfüllt und daher eher unerwünscht ist. Dies bezieht sich auf viele Kipppunkte im Klimasystem und vor allem auf Kippphänomene in ökologischen Systemen. Auf die obigen Beispiele bezogen würde ein Kippen dazu führen können, dass die thermohaline Zirkulation und damit der Wärmetransport in den Norden zum Erliegen kommt, dass das Grönlandeisschild bzw. das Westantarktische Eisschild zu großen Teilen abschmelzen und zur Erhöhung des Meeresspiegels beitragen, das arktische Meereis im Sommer verschwindet und damit die Arktis für einen Teil des Jahres eisfrei wird, der Regenwald am Amazonas sowie der nördliche Nadelwaldgürtel reduziert werden und die tropischen Korallenriffe absterben. Gerade in ökologischen Systemen sind Kipppunkte häufig mit der Schwächung von Arten bis hin zum Aussterben verknüpft und tragen damit zur Veränderung der Biodiversität auf der Erde bei. Ein Beispiel für Kippprozesse in Ökosystemen, wie sie bereits heute beobachtet werden, sind die tropischen Korallenriffe, die durch den Klimawandel sowie anthropogene Einflüsse mit Grünalgen überdeckt werden, so dass die Korallen absterben und das System von einem korallendominierten Riff in ein algendominiertes Riff umkippt (Hoeg-Guldberg et al. 2007). Ein weiteres Beispiel aus Europa sind flache Seen, die durch zunehmende Nährstoffeinträge auf Grund intensiver landwirtschaftlicher Düngung vom Klarwasserzustand mit hoher Sichttiefe in ein Trübwasserstadium mit hohen Algenkonzentrationen umkippen (Scheffer et al. 1993). Für bei-

de genannten Phänomene ist typisch, dass die Kippprozesse auf relativ kurzen Zeitskalen – verglichen mit den Zeitskalen der ökologischen Prozesse – stattfinden.

Insbesondere für das Kippen von ökologischen Systemen wurde von *Buzz Holling* (1939–2019) das Konzept der Resilienz entwickelt (Holling 1973; Holling 1996), das heute Einzug in viele Wissenschaftsdisziplinen gehalten hat. *Holling* charakterisiert ein System als resilient, wenn es keine Kipppunkte aufweist, d. h. jede Störung ausgedämpft wird und der ursprüngliche Zustand des Systems nach der Störung wieder angenommen wird. Das erste von *Holling* entwickelte Stabilitätsmaß heißt heute Ingenieurs-Resilienz und ist äquivalent zum Ergebnis einer linearen Stabilitätsanalyse. Daher ist es nur für kleine Störungen anwendbar. Da auch große Störungen in Anwendungen eine herausragende Rolle spielen, hat *Holling* noch ein zweites Stabilitätsmaß vorgeschlagen, das auch in diesem Fall anwendbar ist (Holling 1996). Diese ökologische Resilienz fragt nach der größtmöglichen Störung, die von einem System noch absorbiert werden kann, ohne dass es in einen anderen stabilen Zustand kippt. Dies ist gleichbedeutend mit der kleinstmöglichen Störung, die das System zum Kippen bringt.

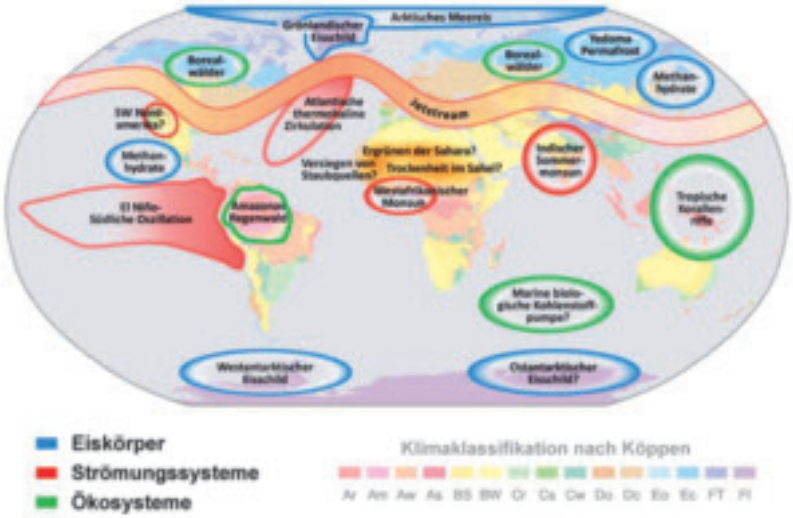


Abb.3: Kippelemente des Klimasystems.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Kippelemente_%28Tipping_Elements%29_-_Karte.png under the license CC BY 3.0 DE <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/deed.en>, via Wikimedia Commons.

3 Die Rolle von Störungen und unterschiedlichen Zeitskalen

Störungen, die ein Kippen des Systems hervorrufen, können ganz unterschiedlicher Natur sein. Es können einerseits die Zustandsgrößen wie z. B. Koordinaten und Impulse eines mechanischen Systems, die Konzentrationen eines chemischen Systems oder die Häufigkeiten von Arten in einem ökologischen System gestört werden. Dies entspricht der Auslenkung des Zustands aus dem Tal der Stabilitätslandschaft, die ihrerseits unverändert bleibt. Andererseits können sich die Umweltbedingungen verändern, was sich in einer Veränderung der Stabilitätslandschaft widerspiegelt. Beide Arten der Störungen sind möglich und haben ganz unterschiedliche Auswirkungen (Schoenmakers/Feudel 2021). Dabei kann man drei Typen von unterschiedlichen Störungen unterscheiden (Abb. 4): (1) Fluktuationen, d. h. zufällige kleine Abweichun-

gen in den Zustandsgrößen oder den Triebkräften des Systems, die einer bestimmten Statistik genügen, (2) große einzelne Störungen, die Extremereignissen entsprechen und (3) langsame Veränderungen von Umweltbedingungen, die mit bestimmten Trends verknüpft sind. In der Natur würde man stets eine Kombination dieser Störungen beobachten, für theoretische Untersuchungen von Kippmechanismen ist es jedoch nützlich, die einzelnen Störungstypen getrennt voneinander zu analysieren.

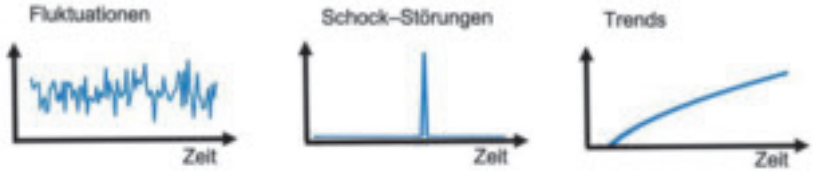


Abb. 4: Mögliche Störungen für ein komplexes System.

4 Mechanismen von Kippphänomenen

Betrachten wir ein bistabiles System, wie in der Stabilitätslandschaft in Abb. 2 dargestellt und dessen Störungen (Abb. 5). Sich verändernde Umweltbedingungen, dargestellt als ein Parameter p, führen dazu, dass sich die Stabilitätslandschaft verändert und es ein Intervall von Umweltbedingungen gibt, in dem Bistabilität vorliegt. Dies wird dadurch repräsentiert, dass gleichzeitig 2 stabile Zustände des Systems (durchgezogene Linien, die den Lagen der beiden Täler entsprechen) vorkommen, die durch einen instabilen Zustand (gestrichelte Line, Lage des Berges zwischen den Tälern) getrennt werden. Ein Kippen des Systems von einem stabilen Zustand in den anderen kann dann, wie bereits erläutert, in zwei Richtungen erfolgen: durch Störungen der Zustandsgrößen, die den Systemzustand charakterisieren also vertikal oder durch Störungen der Umweltbedingungen also horizontal in dieser Darstellung (Abb. 5). Zur Erklärung der vier bisher bekannten Kippmechanismen nehmen wir an, dass unser System zwei stabile Zustände hat, wie in Abb. 2, 4 und 5. Der gewünschte Zustand sei der Zustand A und das System befinde sich in diesem oberen der beiden stabilen Zustände gekennzeichnet durch z. B. eine hohe Artenvielfalt (Biodiversität) oder hohe Biomasse.

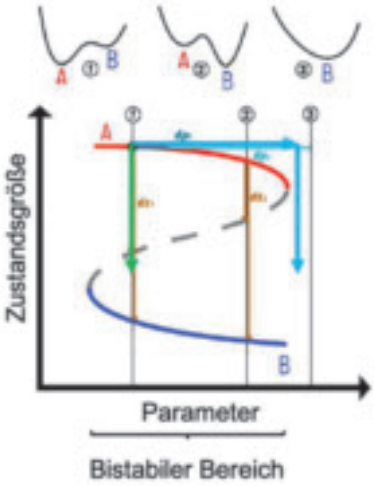


Abb. 5: Mögliche Kippvorgänge in einem bistabilen System (2 stabile Zustände mit durchgezogenen Linien A (rot) und B (blau), 1 instabiler Zustand mit gestrichelter Linie (grau)) für unterschiedliche Störungen der physikalischen chemischen oder biologischen Zustandsgrößen. Störungen des Systemzustands (vertikal) sind grün dargestellt, Störungen der Umweltbedingungen (horizontal) sind blaugrün dargestellt.

Bifurkations-induziertes Kippen: Umweltveränderungen wie globale Erwärmung oder Änderung der Landnutzung können sich auf die Artenvielfalt auswirken. Wenn die Umweltveränderungen langsam erfolgen, dann würde das Ökosystem langsam entlang der durchgezogenen Linie A nach rechts zu kleinerer Biodiversität „wandern" bis es zu dem Kipppunkt kommt, hinter dem der Zustand mit hoher Biodiversität aufhört zu existieren. Dieser Kipppunkt ist damit verknüpft, dass eines der Minima in der Stabilitätslandschaft, die durch die Umweltbedingungen bestimmt wird, beim Überschreiten eines kritischen Wertes dieser Umweltbedingungen verschwindet. Solche kritischen Übergänge, die mit einer charakteristischen qualitativen Veränderung der Stabilitätslandschaft wie z. B. des Entstehens neuer bzw. Verschwindens vorhandener Zustände verknüpft sind, nennt man *bifurkations-induzierte* Übergänge (Abb.6a). Durch das Verschwinden des ursprünglichen Zustands A kippt das System in den unteren Zustand B mit geringerer Biodiversität.

Ein Beispiel dafür ist das bereits oben erwähnte Kippen von flachen Seen (Scheffer et al. 1993), wo der Übergang von niedriger zu hoher Trübung des Wassers mit einem Übergang von hoher zu niedriger Artenvielfalt einhergeht, manifestiert durch das Absterben der Vegetation am Boden des Sees. Der Grund für das Aussterben liegt darin, dass die Pflanzen wegen der hohen Trübheit des Gewässers durch hohe Algenkonzentrationen nicht mehr genug Licht für die Photosynthese erhalten. Ein anderes, physikalisches Beispiel aus dem Klimasystem wurde im Rahmen des von *Werner Ebeling* und Kollegen initiierten und von ihm in der ersten Phase geleiteten Sonderforschungsbereichs „Komplexe Nichtlineare Prozesse" untersucht. Es wurde das bifurkationsinduzierte Kippen der thermohalinen Ozeanzirkulation analysiert. Diese großräumige dichtegetriebene Zirkulation, die für das relativ milde Klima in Nord- und Westeuropa verantwortlich ist, kann durch die globale Erwärmung und die damit einhergehende Veränderung von Frischwasserflüssen (Verdunstung und Niederschläge) zusammenbrechen (Titz et al. 2002).

Neben den hier gezeigten gibt es eine Vielzahl solcher Übergänge, die alle die Eigenschaft besitzen, dass sich die Stabilitätslandschaft qualitativ verändert. Dies ist bereits im Buch von *Ebeling & Feistel* aus dem Jahre 1982 ausgeführt und basiert auf den Studien von *Rene Thom* (1923–2002), der eine Klassifikation solcher kritischen Übergänge für eine bestimmte, eingeschränkte Klasse von Systemen, sogenannte Gradientensysteme, vorgenommen hat. Eine Erweiterung dieser Klassifikation auf allgemeine Systeme findet sich in den zahlreichen Büchern zur mathematischen Theorie von Bifurkationen (Guckenheimer/Holmes 1983) sowie in der neueren Literatur (Ashwin et al. 2012).

Rausch-induziertes Kippen: Dieser Kippvorgang wird durch Fluktuationen (Abb. 4 links) bewirkt, die in natürlichen Systemen nicht zu vermeiden sind, da alle Größen, die die physikalische Umgebung beschreiben, wie z. B. Temperatur und Sonneneinstrahlung, Schwankungen unterliegen. Die Bedeutung solcher Schwankungen in der Physik der Selbstorganisation und Evolution wurde von *Werner Ebeling* bereits frühzeitig erkannt und so nimmt die Untersuchung von verrauschten Systemen großen Raum in seinem Schaffen ein (Ebeling/Feistel 1982). Insbesondere untersuchte er mit unterschiedlichen Koautoren kritische Übergänge in bistabilen Systemen, wie z. B. in bistabilen Reaktionen (Ebeling/Schimansky-Geier 1979) oder in strukturbildenden Reaktions-

Diffusions-Systemen (Malchow et al. 1983). *Rauschinduzierte* Übergänge beruhen darauf, dass das System im Minimum der Stabilitätslandschaft durch die Fluktuationen ständig angestoßen wird. Da diese Stöße zufällig sind, können sie in alle Richtungen gehen. Die Antwort des Systems auf einen solchen Stoß besteht darin, dass das System wegen der sofort einsetzenden rücktreibenden Kräfte wieder dem Minimum entgegen strebt oder im Bild der Stabilitätslandschaft dem Minimum entgegen „rollt". Da Fluktuationen zu jedem Zeitpunkt auftreten, erfolgt der nächste Stoß meist bevor der ursprüngliche stabile Zustand wieder erreicht ist. Daher kann eine geeignete Sequenz von Stößen das System über den Berg führen und damit in den anderen Zustand kippen lassen (Abb. 6b). In Abb. 5 würde dies einer Sequenz von Störungen entsprechen, die den Zustand des Systems verändert, also vertikal bis über die gestrichelte Linie führt (grüner Pfeil).

Ein ökologisches System, bei dem ein solches rausch-induziertes Kippen vermutet wird, ist der in der Nordsee Ende der 90-er Jahre beobachtete Wechsel in der Dominanz zweier im Sediment lebenden Arten, eines Schlangensterns und einer Krabbenart. Dieser Dominanzwechsel fand ohne nennenswerte Änderungen der Umweltbedingungen statt, und kann daher nicht auf ein bifurkations-induziertes Kippen zurückgeführt werden, sondern eher von einer Änderung der Fluktuationen in der Wasserbewegung verursacht worden sein (van Nes et al. 2007). Dies beleuchtet eine wichtige Eigenschaft rausch-induzierter Übergänge: Sie können stattfinden, ohne dass es Umweltveränderungen gibt, d. h. ohne dass sich die Stabilitätslandschaft ändert. Bei fixierter Stabilitätslandschaft ist hauptsächlich die Stärke der Fluktuationen wesentlich. Dies kann auch im Klimasystem ein entscheidender Mechanismus des Kippens sein, da Klimaveränderungen nicht nur die Verschiebung von Mittelwerten wie z. B. der Globaltemperatur bei der globalen Erwärmung, sondern auch die Veränderung der Variabilität von Umweltparametern beinhalten, wie z. B. die Veränderung von Niederschlagsmustern im Indischen Monsun hin zu mehr Extremniederschlägen (Goswami et al. 2006).

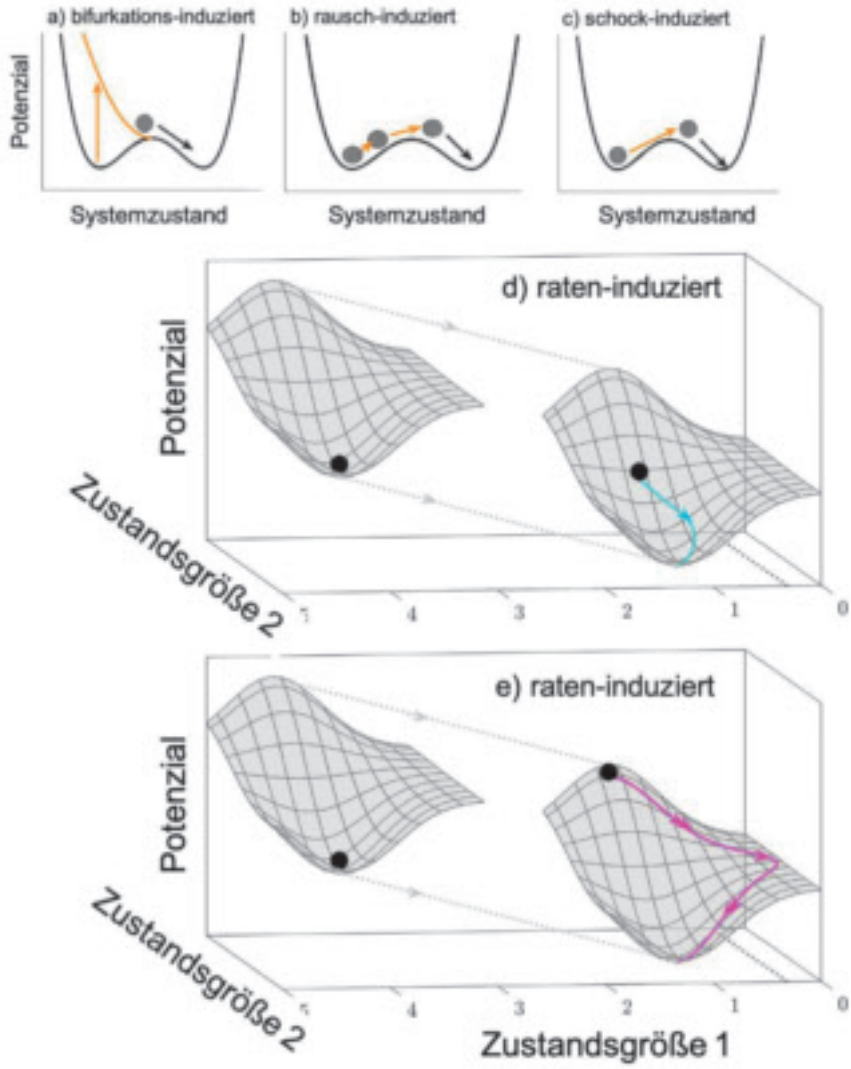


Abb. 6: Mögliche 4 Kippmechanismen: a) Bifurkations-induziertes Kippen, b) rausch-induziertes Kippen, c) schock-induziertes Kippen, d) raten-induziertes Kippen: Verlauf bei unterkritischer Rate der Umweltveränderungen, e) raten-induziertes Kippen: Verlauf bei überkritischer Rate der Umweltveränderungen.

Im bereits erwähnten Sonderforschungsbereich „Komplexe Nichtlineare Prozesse“ wurde als ein Beispiel im Klimasystem die Tiefenkonvektion in der Labradorsee untersucht, die zu einem großen Teil an der Bildung von Tiefenwasser und dem Wärmeaustausch mit der Atmosphäre in der thermohalinen Ozeanzirkulation (THC) beteiligt ist. Diese Konvektion als ein sehr lokales Phänomen ist bistabil, d. h. es gibt Jahre, in denen Tiefenkonvektion in sogenannten Konvektionsschornsteinen für den Antrieb der THC stattfindet und Jahre, wo dies nicht der Fall ist. Es konnte gezeigt werden, dass Schwankungen von Temperatur und Salzgehalt im Ozean zu einem Abschalten von Konvektionsschornsteinen und damit zu einer Schwächung der THC beitragen können (Kuhlbrodt et al. 2001).

Schock-induziertes Kippen: Während rausch-induziertes Kippen durch eine ganze Sequenz von kleinen Störungen zum Kippen des Systems führt, wird ein *schock-induziertes* Kippen durch eine einzelne große Störung verursacht (Abb. 4 Mitte, Abb. 6c). In der Natur würde dies z. B. einem Extremereignis entsprechen, dass ein System über den Berg in der Stabilitätslandschaft zu stoßen vermag. Dieser Kippmechanismus entspricht dem von *Holling* eingeführten Stabilitätsmaß der ökologischen Resilienz (Holling 1996). Es ist die kleinste mögliche Störung, die ein System zum Kippen bringen kann. Die Berechnung solcher kleinsten Störungen in ökologischen Netzwerken gibt auch interessante Aufschlüsse darüber welche Teile eines Systems am verwundbarsten gegenüber extremen Störungen sind. So kann man zeigen, dass in vernetzten Ökosystemen von Pflanzen und deren Bestäubern gerade solche Arten am gefährdetsten gegenüber Störungen sind, die in eine baumartige Struktur der Artenvernetzung eingebunden sind und damit nur eine sehr lose Verbindung zum Kern des Artennetzwerks besitzen (Halekotte/Feudel 2020).

Hinweise für die Rolle von Extremereignissen bei Kippphänomenen finden sich auch bei anderen Beobachtungen in der Ökologie, z. B. bezüglich des Absterbens von Korallenriffen. Korallen profitieren von der Symbiose mit anderen Organismen, die das Überwachsen von Korallen mit Algen verhindern, indem sie die letzteren einfach von den Korallen abfressen. Geeignete Organismen sind Seeigel oder bestimmte Fische. Der Zusammenbruch eines Korallenriffs nach einer Epidemie, die zu einem massenhaften Absterben von Seeigeln geführt hat, kann als ein solches schock-induziertes Kippen durch das Extremereignis

„Epidemie" in Kombination mit anderen Extremereignissen wie zwei verheerenden Wirbelstürmen interpretiert werden (Mumby et al. 2007).

Raten-induziertes Kippen: Dieser Kippmechanismus beschreibt die Antwort eines Systems auf eine Umweltveränderung, die mit einem bestimmten Trend einhergeht. Er unterscheidet sich von den bisher diskutierten durch drei wesentliche Punkte: (1) Bei diesem Mechanismus spielt das Verhältnis zwischen den Zeitskalen der physikalischen, chemischen und/oder biologischen Prozesse im betrachteten System und des Trends der Umweltveränderungen eine entscheidende Rolle. (2) Dieser Mechanismus setzt nicht zwingend die Existenz mehrerer stabiler Zustände voraus. (3) Der kritische Schwellwert wird nicht durch einen Umweltparameter selbst bestimmt, sondern mit der Rate seiner Veränderung. Hier ist die Geschwindigkeit mit der sich Umweltveränderungen vollziehen die wichtigste Größe.

Illustriert ist dieser Mechanismus in Abb. 6d, wo die Umweltbedingungen, d. h. die Stabilitätslandschaft, mit einer bestimmten Rate verändert wird. In der Darstellung in Abb. 6d wird die Stabilitätslandschaft mit einer unterkritischen Rate sozusagen unter dem stabilen Zustand hinweggezogen. Damit liegt der stabile Zustand nicht mehr im Minimum und fängt an, dem Minimum „hinterher zu rollen". Durch die langsame Rate gelingt das auch und schließlich bleibt das System immer in der Nähe des sich mit dem Trend bewegenden Minimums, d. h. es kann dem Minimum folgen. In Abb. 6e ist die Rate des „Wegziehens" der Stabilitätslandschaft schneller, so dass der stabile Zustand, symbolisiert durch den Ball, an einer ganz anderen Stelle in der Stabilitätslandschaft landet und damit die Nähe des Minimums verlässt und eine qualitativ andere Dynamik verfolgt. Dies entspricht dann dem *raten-induzierten* Kippen.

Betrachten wir wiederum ein Ökosystem als Beispiel: Gehen z. B. Umweltänderungen langsam vonstatten wie im bifurkations-induzierten Kippen, haben die Arten im Ökosystem Zeit genug, um sich an die veränderte Umwelt anzupassen. Umgekehrt, gehen z. B. Klimaänderungen zu schnell, dann versagt diese Anpassung der Arten und als Folge können Ökosysteme zusammenbrechen.

Diesen Mechanismus kann man beispielsweise an Räuber-Beute Systemen demonstrieren, wo durch Klimaveränderungen oder anthropogene Einflüsse (Landnutzungsänderungen) der Lebensraum der Beute zerstört wird. Dabei kann man eine kritische Geschwindigkeit oder eine

kritische Rate der Umweltveränderungen bestimmen, jenseits derer das Ökosystem zusammenbricht (Vanselow et al. 2019). Solche rateninduzierten kritischen Übergänge gibt es nicht nur in Ökosystemen, sondern auch in physikalischen Systemen, wie dem Grönlandeinsschild (Klose 2020).

Vor dem Hintergrund immer schneller werdender Umweltzerstörung erscheint gerade dieser Kippmechanismus besonders gefährlich. Im Gegensatz zu den anderen Mechanismen benötigt er auch nicht zwingend mehrere gleichzeitig existierende stabile Zustände, sondern das Kippen wird dadurch realisiert, dass das System vorübergehend Zustände annimmt, die sehr weit von dem ursprünglichen Zustand entfernt sind und sich als unerwünscht darstellen. Für ökologische Systeme kann dies z. B. bedeuten, dass bestimmte Arten in ihrer Häufigkeit unter die Extinktionsschwelle geraten und die Wahrscheinlichkeit ihres Aussterbens sehr hoch wird.

Kippen in strukturbildenden Systemen: In der bisherigen Betrachtung wurden lediglich solche Systeme betrachtet, die räumlich homogen sind. Komplexe Systeme zeichnen sich jedoch dadurch aus, dass sie spontan räumlich inhomogene Strukturen bilden können. Solche Strukturbildungsprozesse insbesondere in Reaktions-Diffusions-Systemen sind ein weiterer Schwerpunkt des Schaffens von *Werner Ebeling* (Malchow/Ebeling 1984). Bei Kippphänomenen nehmen strukturbildende Systeme eine Sonderrolle ein. Die räumlichen Wechselwirkungen können dazu führen, dass in bistabilen Systemen das Kippen in benachbarten Raumpunkten beschleunigt werden und damit zu einer Kipp-Kaskade führen kann (Bastiaansen 2020). Es ist jedoch auch denkbar, dass ein Kippen durch die räumlichen Wechselwirkungen erschwert oder gar verhindert wird. Dies ist ein aktuelles Forschungsgebiet, das sich momentan stark entwickelt. Ein bisheriges Ergebnis zeigt, dass auf Grund des Auftretens räumlicher Strukturen Kippphänomene graduell auftreten können (Golan 2012). Dies bedeutet, dass das Kippen nur lokal sichtbar wird, und daher nur auf sehr viel längeren Zeitskalen ein Kippen des Gesamtsystems vollendet wird. Statt relativ abrupter kritischer Übergänge beobachtet man einen langfristigen Übergang der „Schritt für Schritt" über unterschiedliche Muster erfolgt.

5 Kippphänomene und Resilienz

Wie bereits anhand der bisherigen Beispiele erläutert, sind Kippphänomene insbesondere im Klimasystem oder in Ökosystemen von hoher Relevanz, da der globale Klimawandel eng mit diesen Phänomenen verknüpft ist (IPCC Bericht 2021). Solche Phänomene treten aber nicht nur dort oder in den Naturwissenschaften allgemein auf, sondern sind auch in den Geisteswissenschaften bekannt. Ein Beispiel ist das „Umkippen" eines Meinungsbildes nach einem schwerwiegenden Schock-Ereignis, wie z. B. das Umschlagen der Akzeptanz der Nutzung der Kernenergie für die Energieversorgung in deren Ablehnung nach dem Reaktorunfall 2011 in Fukushima (Japan) (Bericht des Schweizer Fernsehens 2013). Auch *Werner Ebeling* hat in seinen Arbeiten immer wieder betont, dass die Prinzipien der Physik der Selbstorganisation und Evolution nicht auf die Naturwissenschaften beschränkt sind, sondern auch für gesellschaftliche Entwicklungen von Bedeutung sind (Ebeling 2003). Dies trifft auch auf das von *Holling* für ökologische Systeme entwickelte Konzept der Resilienz zu, das heute in vielen Fachdisziplinen diskutiert wird (Martin-Breen/Anderies 2011). Resilienz bezeichnet dabei die Fähigkeit eines Systems, auf langfristige Änderungen oder kurzfristige Störungen so zu reagieren, dass eine nachhaltige Entwicklung ohne Zusammenbrüche in unerwünschte Zustände möglich wird. Neben der schon erwähnten Ingenieurs- und ökologischen Resilienz wurde von *Walker* und seinen Koautoren betont, dass das Konzept der Resilienz auch Anpassung und Evolution einschließen sollte (Walker et al. 2004). Hier zeigt sich, dass die von *Ebeling & Feistel* entwickelte Theorie der Selbstorganisation und Evolution dieses Prinzip schon mehr als 20 Jahre früher formuliert hatte (Ebeling/Feistel 1982). Mit der Beschreibung der Evolution als einen fortlaufenden Prozess von Selbstorganisationsprozessen lässt sich Resilienz in ähnlicher Weise erklären und kann als eine weitere Anwendung des Selbstorganisations-Prinzips gelten. Dies trifft insbesondere deshalb zu, da ein resilientes System häufig das Produkt eines Evolutionsprozesses ist. Schon heute kann man zeigen, dass die schnelle Evolution von Organismen in der Lage ist, ein raten-induziertes Kippen von Ökosystemen zu verhindern (Vanselow et al. 2022). Dies eröffnet zumindest für bestimmte Klassen von ökologischen Systemen eine Möglichkeit, dem globalen Klimawandel erfolgreich zu begegnen. Die Kopplung von den hier beschriebenen

Kippphänomenen mit der Theorie der Selbstorganisation und Evolution kann zu einem neuen zukünftigen Konzept der Resilienz führen.

Bibliographie

Argyris, John / Faust, Gunter / Haase, Maria / Friedrich, Rudolf (2017): *Die Erforschung des Chaos*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Ashwin, Peter / Wieczorek, Sebastian / Vitolo, Renato / Cox, Peter (2012): „Tipping points in open systems: Bifurcation, noise-induced and rate-dependent examples in the climate system". *Philosophical Transactions of the Royal Society* A 370, 1166–1184.

Bastiaansen, Robbin / Doelman, Arjen / Eppinga, Maarten B. / Rietkerk, Max (2020): „The effect of climate change on the resilience of ecosystems with adaptive spatial pattern formation". *Ecology Letters* 23, 414–429.

Bericht des Schweizer Fernsehens (2013): *http://www.srf.ch/news/ schweiz/ der-fukushima-effekt-ist-verpufft*

Ebeling, Werner (1976): *Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen*. Leipzig: B. G. Teubner Verlag.

Ebeling, Werner (2003): *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften,* Band 60. Berlin: trafo Verlag.

Ebeling, Werner / Feistel, Rainer (1982): *Physik der Selbstorganisation und Evolution*. Berlin: Akademie-Verlag.

Ebeling, Werner / Schimansky-Geier, Lutz (1979): „Stochastic dynamics of a bistable reaction system". *Physica* 98A, 587–600.

Goswami, Bhupendra Nath / Venugopal, Vengatesan / Sengupta, Durba / Madhusoodanan M. S. / Xavier, P. K. (2006): „Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment". *Science* 314, 1442–1445.

Golan, Bel / Hagberg, Aric / Meron, Ehud (2012): „Gradual regime shifts in spatially extended ecosystems". *Theoretical Ecology* 5, 591–604.

Guckenheimer, John / Holmes, Philip (1983): *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. New York: Springer Verlag.

Haken, Hermann (1977): *Synergetik*. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.

Haken, Hermann / Plath, Peter J. / Ebeling, Werner / Romanovsky, Yuri M. (2016): *Beiträge zur Geschichte der Synergetik*. Wiesbaden: Springer Spektrum.

Halekotte, Lucas / Feudel, Ulrike (2020): „Minimal Fatal Shocks in Multistable Complex Networks". *Scientific Reports* 10, Article: 11783.

Hoeg-Guldberg, Ove / Mumby, Peter J. / Hooten, Anthony J. / Steneck,

Robert. S. / Greenfield, Paul / Gomez, Erick / Harvell, Catherine Drew / Sale, Peter F. / Edwards, Alasdair James / Caldeira, Ken / Knowlton, Nancy / Eakin, C. Mark / Iglesias-Prieto, Roberto / Muthiga, Nyawira / Bradbury, Robert H. / Dubi, Arie / Hatziolos, Maria Eleni (2007): „Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification". *Science* 318, 1737–1742.

Holling, Crawford Stanley (1973): „Resilience and stability of ecological systems". *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 1–23.

Holling, Crawford Stanley (1996): „Engineering Resilience versus Ecological Resilience". *Engineering Within Ecological Constraints*, edited by Peter C. Schulze. Washington: National Academy Press, 31–43.

Hoyle, Rebecca (2006): *Pattern formation. An introduction to methods*. New York: Cambridge University Press.

IPPC Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2021, The Physical Science Basis. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FrontMatter.pdf

Klose, Ann Kristin (2020): *Cascades and early warning signals in systems of interacting tipping elements of varying complexity*. Master thesis University Oldenburg.

Kuhlbrodt, Till / Titz, Sven / Feudel, Ulrike / Rahmstorf, Stefan (2001): „A simple model of seasonal open ocean convection. part II: Labrador Sea stability and stochastic forcing". *Ocean Dynamics* 52, 36–49.

Lenton, Timothy M. / Held, Hermann / Kriegler, Elmar / Hall, Jim W. / Lucht, Wolfgang / Rahmstorf, Stefan / Schellnhuber, Hans Joachim (2008): „Tipping elements in the Earth's climate system". *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 105, 1786–1793.

Malchow, Horst / Ebeling, Werner / Feistel, Rainer / Schimansky-Geier, Lutz (1983): „Stochastic bifurcations in a bistable reaction-diffusion system with Neumann boundary conditions". *Annalen der Physik* 40, 151–160.

Malchow, Horst / Ebeling, Werner (1984): „Ausbildung räumlicher Strukturen in ein- und zweikomponentigen nichtlinearen Reaktions-Diffusionssystemen". *Zeitschrift für physikalische Chemie* 265, 49–60.

Martin-Breen, Patrick / Anderies, J. Marty (2011): *Resilience: A literature review*. available at https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/handle/20.500.12413/3692.

Mumby, Peter J. / Hastings, Alan / Edwards, Helen J. (2007): „Thresholds and the resilience of Carribian coral reefs". *Nature* 450, 98–101.

Rahmstorf, Stefan (1995): „Bifurcations of the Atlantic thermohaline circulation in response to changes in the hydrological cycle". *Nature*

378, 145–149.

Rahmstorf, Stefan (2002): „Ocean circulation and climate during the past 120,000 years“. *Nature* 419, 207–214.

Scheffer, Marten / Carpenter, Steve / Foley, Jonathan A. / Folke, Carl / Walker, Brian (2001): „Catastrophic shifts in ecosystems“. *Nature* 413, 591–596.

Scheffer, Marten / Hosper S. H. / Meijer M.-L. / Moss, Brian / Jeppesen, Erik (1993): „Alternative equilibria in shallow lakes“. *Trends in Ecology & Evolution* 8, 275–279.

Schoenmakers, Sarah / Feudel, Ulrike (2021): „A resilience concept based on system functioning: A dynamical systems perspective“. *Chaos: An interdisciplinary journal of nonlinear science* 31, Art. 053126.

Titz, Sven / Kuhlbrodt, Till / Rahmstorf, Stefan / Feudel, Ulrike (2002): „On freshwater-dependent bifurcations in box-models of the interhemisperic thermohaline circulation“. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* 54, 89–98.

Van Nes, Egbert H. / Amaro, Teresa / Scheffer, Marten / Duineveld, Gerard C. A.(2007): „Possible mechanisms for a marine benthic regime shift in the North Sea“. *Marine Ecology Progress Series* 330, 39–47.

Vanselow, Anna / Wieczorek, Sebastian / Feudel, Ulrike (2019): „When very slow is too fast – collapse of a predator-prey system“. *Journal of Theoretical Biology* 479, 64–72.

Vanselow, Anna / Halekotte, Lucas / Feudel, Ulrike (2022): „Evolutionary rescue prevents rate-induced tipping“. *Theoretical Ecology* 15, 29–50.

Walker, Brian / Holling, Crawfoed Stanley / Carpenter Stephen R. / Kinzig, Ann (2004): „Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems“. *Ecology & Society* 9, Art. 5. https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 161–166*

Worte des Dankes und der Erinnerung

Werner Ebeling
(Rostock / Berlin, MLS)

> Geschichte ist nicht eine Reihe wiederkehrender Ereignisse, sondern eine Folge einmaliger Erfahrungen, die unwiederbringlich verloren gehen, wenn man sie nicht aufschreibt und die Erinnerung daran hochhält.
>
> Theodor Fontane

Liebe Freunde, Kolleginnen und Kollegen,

vielen Dank dieser Runde und besonders den Rednern und den Verantwortlichen für diese Veranstaltung. Ich bin bewegt und dankbar für die Glückwünsche zu meinem 85. Geburtstag, besonders dem Präsidium und der Klasse für die Vorbereitung dieses Ehrenkolloquiums.

Ich sehe darin auch eine Anerkennung für 50 Jahre Mitarbeit in den Gremien der Akademie und der Sozietät. Dieses wichtige Kapitel meiner Biographie begann im Mai 1970. Ich finde in meinen Aufzeichnungen, dass ich erstmalig am 29. Mai 1970 auf Einladung von *Robert Rompe* (1905–1993), dem Klassenvorsitzenden, an einer Sitzung der Klasse Physik teilgenommen habe, auf der *Günter Vojta* (1928–2011) vortrug. Ich war stolz darauf, neben meinen akademischen Lehrern *Hans Falkenhagen* (1895–1971) und *Günter Kelbg* (1922–1988) aus Rostock in der Klasse zu sitzen und mitzudiskutieren. Im Juni 1971 verstarb *Hans Falkenhagen*, eine Koryphäe für Thermodynamik und Transport in Lösungen und *Rompe* bat mich, der Klasse zu diesen Fragen und speziell zur Theorie irreversibler Prozesse und Selbstorganisation zuzuarbeiten. Mein erster Auftrag war es, eine Recherche zu machen, wie die neuen

Entwicklungen der Thermodynamik irreversibler Prozesse für technologische Prozesse zu nutzen sind. Nach einer Vorlage zu „Thermodynamik irreversibler Prozesse und Verfahrenstechnik", verschiedenen anderen Vorlagen und Vorträgen, z. B. zur Theorie dissipativer Strukturen, wurde ich 1977 als korrespondierendes Mitglied zugewählt.

Die Klasse Physik hat unter *Rompe*s Leitung den irreversiblen Prozessen, der Nichtlinearen Dynamik und Konzepten der Selbstorganisation großes Interesse gewidmet. Das war wesentlich ein persönliches Anliegen von *Robert Rompe*, *Günter Kelbg*, *Armin Uhlmann* (*1930), *Karl Lanius* (1927–2010), *Manfred Peschel* (1932–2002), *Hans-Jürgen Treder* (1928–2006) und *Günter Vojta*. 1979 wurde ich von der Universität Rostock an die Humboldt-Universität berufen und konnte so noch stärker in der Klasse mitarbeiten. Meine erste Forschungsstudentin an der Humboldt-Universität war unsere heutige Rednerin *Ulrike Feudel* (*1957), es folgte eine ganze Plejade begabter junger Leute. Unser Prophet war *Ilya Prigogine* (1917–2003), Pionier unseres Fachgebietes und Nobelpreisträger für Chemie (1977), er wurde 1980 als auswärtiges Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR zugewählt und hat unsere Gruppe freundschaftlich gefördert. Mein persönliches Interesse konzentrierte sich auf die „Physikalischen Prinzipien der Selbstorganisation und Evolution", dazu konnte ich mehrere Beiträge in der Klasse und einen Vortrag im Plenum der Akademie halten. Wie ich mich erinnere, gab es zum Plenarvortrag eine lange und ziemlich kritische Diskussion. Einer der Philosophen meinte, dass viele Aussagen zur Selbstorganisation nicht neu seien und sich auch schon bei *Karl Marx* (1818–1883) fänden; da konnte ich ihm nur zustimmen. *Robert Rompe* tröstete mich mit den Worten: "Ich kann mich nicht erinnern, dass ein Vortrag so lange und kontrovers diskutiert wurde." Auf eine Wahl zum ordentlichen Mitglied musste ich allerdings nun noch bis 1989 warten. Das Material des Vortrages wurde mit *Rainer Feistel* (*1948) in einer Monographie des Akademie-Verlages dargestellt (Ebeling/Feistel 1992), die noch zwei weitere Auflagen, eine russische Übersetzung sowie eine überarbeitete englische Version erlebte (Feistel/Ebeling 2011).

In den Folgejahren konzentrierten sich die Diskussionen in der Klasse Physik auf Anwendungen auf Strukturbildung und Turbulenz in Physik und Geophysik. Auch die philosophischen Fragen und die interdisziplinären Aspekte fanden breites Interesse, besonders nenne ich

Herbert Hörz (*1933) und *Günter Kröber* (1933–2012) sowie den Kreis um *Hermann Ley* (1911–1990) und *Karl-Friedrich Wessel* (*1935), bei den Biologen *Günter Tembrock* (1918–2011), *Roland Glaser* (*1935), *Reinhart Heinrich* (1946–2006) und *Jens Reich* (*1939), bei den Chemikern *Hartmut Linde* (1925-2012) und *Wolfgang Schirmer* (1920–2005).

Besonders hervorheben möchte ich den Interessenaustausch mit *Lutz Fleischer* (*1938), der professionell die Theorie irreversibler Prozesse bearbeitete und mich auch in populärwissenschaftliche Arbeit einführte.

Zusammenfassend darf ich über die Vorwende- und Wendezeit in Berlin sagen, es war eine spannende Zeit. Die Berliner Universität und auch die Akademie war, wie schon *Friedrich Engels* (1820–1895) über seine Zeit sagte, in die wichtigen Strömungen der Zeit fest eingebunden. Meine besten Erinnerungen an die Berliner Zeit sind mit meinen Studenten und Mitarbeitern verbunden, die in Berlin zu meiner Gruppe gehörten und die ich mit ausbilden durfte. *Ulrike Feudel*, die als Erste zu uns kam und die dann eine erfolgreiche Karriere gemacht hat, wurde schon erwähnt. Aus der langen Liste begabter Studenten und von außen zu uns kommende Mitarbeiter greife ich hier nur einige Namen in zeitlicher Reihenfolge heraus: *Andrea Scharnhorst*, *Andreas Engel*, *Andreas Förster*, *Thorsten Pöschel*, *Hanspeter Herzel*, *Martin Jensen*, *Thomas Nattermann*, *Frank Schweitzer*, *Jens Ortner*, *Friedemann Schautz*, *Mario Steinberg*, *Ulf Leonhardt*, *Hans Wagenknecht*, *Udo Erdmann*, *Dieter Beule*, *Ralf Steuer*, *Benno Tilch*, *Alexander Chetverikov*, *Burkhart Militzer*, *Johannes Orphal*, *Stefan Hilbert*, *Thomas Pohl*, *Jörn Dunkel*. Mit fast Jeder und Jedem ist eine Geschichte von Erfolgen und Problemen verbunden, aber es ist die größte Freude des Hochschullehrers, wenn die Schüler und Mitarbeiter wachsen, einen selbständigen Weg gehen, wissenschaftliche Leistungen erbringen und Erfolge haben, die unsere in den Schatten stellen.

Ansonsten war die Zeit in Berlin beruflich und persönlich ein „Auf und Ab". Das erste „Ab" war gerade in einer Zeit erfolgreicher wissenschaftlicher Arbeit eine siebenjährige Sperre für alle „Westreisen". Ich musste ebenso wie der biblische Josef erst einmal 7 lange Jahre anstehen. Auch sonst gab es manche Schwierigkeiten, so auch die Verpflichtung zu Übungen in einer Kampfgruppe. Vielleicht war ich mit Kritik und Ironie immer zu offen und die Berliner trauten sowieso keinem aus der Provinz, der zum Überfluss mehr Selbstorganisation forderte. Dann ging es aber nach der harten siebenjährigen Bewährung ab 1986 auf-

wärts mit der Wahl zum Dekan und damit in den Senat der Humboldt-Universität. Am Umbruch der Gesellschaft 1989 habe ich keinen entscheidenden direkten Anteil gehabt. Immerhin haben einige aus der aktiven Bewegung wie etwa *Gerd Gebhardt* (*1950) die Theorie der Selbstorganisation als eine unterstützende Theorie gesehen (Haken et al., 2016). Ich habe auch an vielen Kundgebungen teilgenommen und erinnere mich z. B. an eine spontane Kundgebung der Genossen der Humboldt-Universität und der Berliner Akademie der Wissenschaften vor dem Zentralkomitee der SED. Da forderte *Helga Königsdorf* (1938–2014), die langjährige Lebensgefährtin meines Freundes *Heinrich Parthey* (1936–2020), schon im November 1989, auf einem Lastwagen stehend, mutig den Rücktritt des Politbüros. Ich bin auch ein wenig stolz darauf, dass ich 1989 zum Präsidenten des ersten gewählten Parlamentes der Humboldt-Universität gewählt wurde. Im Übrigen gab es 1989/90 auch Nominierungen für die Wahl zum Präsidenten der Akademie und auch der Universität. Da habe ich mich an einen Rat von *Helga Königsdorf* nach meiner Antrittsrede als Präsident des Parlaments unserer Universität gehalten. Helga sagte nach meiner Antrittsrede in freundschaftlicher Offenheit: „Werner, für hohe Leitungsfunktionen fehlt Dir das Talent, bleibe lieber bei Deinen Vorlesungen, bilde junge Talente aus und schreibe Bücher, das kannst Du viel besser." Der Vertreter der Studentenschaft war drastischer als er sagte: „Herr Präsident, Ihr Appell, zu den Traditionen von *Helmholtz* und *Planck* zurückzukehren, ist aus der Zeit gefallen, wir wollen heute genau das Gegenteil." Wir haben in der Statuten-Kommission im Frühjahr 1990 Tag und Nacht zusammengesessen und über eine neue Verfassung der Universität gestritten. Als unser neues Statut im Konzil nach heftigen Diskussionen angenommen worden war, kam ein Vertreter des Berliner Senats zu mir und sagte sinngemäß: Einen schönen Gruß vom Senator, das war eine schöne Übung in Demokratie für Sie, aber der Senator hat verfügt, dass Sie nur die Wahl haben, entweder das Statut der FU oder der TU zu übernehmen, drei Statuten in Berlin zu haben, ist unzumutbar. Da verstanden wir, wer die Macht hatte und was in der BRD „Demokratie in der Praxis" heißt. Es war ein Lehrstück und Ursprung meiner Skepsis gegenüber der sogenannten „freiheitlichen" Demokratie, die es Andersdenkenden schwer macht, so gar nicht im Sinne von *Rosa Luxemburg* (1871–1919).

Ein interessantes Kapitel war auch die demokratische Umgestaltung

der Akademie mit der Wahl von *Horst Klinkmann* (*1935) zum Präsidenten und neuer Mitglieder, wie *Manfred Eigen* (1927–2019) und *Hermann Haken* (*1927) in unserer Klasse.

Die Auflösung der Akademie der Wissenschaften der DDR und die Gründung der Leibniz-Sozietät war ein anderes Lehrstück aus dieser schwierigen Zeit. Der Entlassungsbrief vom Senator war für mich ein Schock und es war kein Trost, dass auch mein Kollege und Freund in Brüssel, *Ilya Prigogine* rausgeworfen wurde. Als ich etwas später einen mir immer wohl gesonnenen Marburger Kollegen auf dem Dorotheenstädtischen Friedhof traf, kam es zu einer Peinlichkeit. Auf die Frage nach dem Woher und Wohin berichtete er stolz über seine Berufung in die Berlin-Brandenburgische Akademie. Als ich ironisch sagte, da werden Sie ja auf den Stühlen sitzen, die bisher *Ilya Prigogine* und ich nutzten, war er zutiefst betroffen. Das war eine Wende-Erfahrung für ihn auf der Gewinner- und für mich auf der Verliererseite.

Bei den Bemühungen um die Gründung eines Vereins, der das Leibniz-Erbe fortführt, war ich von Anfang an dabei. Ich erinnere mich an leidenschaftliche Diskussionen in einem kleinen Klub-Raum in der Leipziger Straße. Ich habe das Vorhaben unterstützt, war aber zu der Zeit wegen der zeitweiligen Zerschlagung meines Bereiches zutiefst deprimiert und viel unterwegs. Aus meiner Erinnerung betrachtet, sehe ich als treibende Kräfte der Vereinsgründung Mitstreiter wie *Wolfgang Eichhorn* (*1930), *Hermann Klenner* (*1926) und *Karl-Heinz Bernhardt* (*1935). Ich war sehr froh, als sich dann mit *Samuel Mitja Rapoport* (1912–2004) und nachfolgend mit *Herbert Hörz*, *Dieter B. Herrmann* (1939–2021), *Gerhard Banse* (*1946), *Lutz-Günther Fleischer* u. a. Persönlichkeiten an die Spitze stellten, die in einem schwierigen Klima viel Geschick bewiesen und ihr nationales und internationales Ansehen auf die Waagschale zu Gunsten unserer jungen Gesellschaft warfen. Für mich war die Leibniz-Sozietät die natürliche Fortsetzung der Berliner, von *Gottfried Wilhelm Leibniz* (1646–1716) gegründeten Akademie. Ich halte mich an ein bewährtes Prinzip der Wissenschaftsgeschichte: In den Stürmen der Zeit werden Akademien gegründet, geteilt, geschlossen und wiedereröffnet. Die Kontinuität einer Akademie liegt im Bestand der Mitglieder und bei Umstrukturierungen auch politischer Art bleibt die Akademie bei der Mehrheit der Mitglieder. In unserem Fall ist das eindeutig. Somit bin ich froh, zur natürlichen und seit 1700 ungebrochenen Erbfolge der von *Leibniz* gegründeten Akademie zu gehö-

ren. Um ein Missverständnis zu vermeiden – trotz bitterer Erfahrungen sehe ich mich nicht auf der Seite der Wende-Verlierer. Ich habe wie eine russische „Kukla", seit 60 Jahren unterstützt durch meine treue Partnerin Barbara, nach all den Demütigungen wieder den Kopf erhoben. So konnte ich noch bis 2001 als Hochschullehrer zwar nicht mehr in Gremien stimmen oder gewählt werden, aber doch mit vollem Gehalt und einigem Einfluss arbeiten, viele begabte Studenten und Nachwuchswissenschaftler ausbilden, Humboldt-Preisträger heranziehen und eine neue Gruppe aufbauen. Ich bin stolz, dass daraus viele Hochschullehrer hervorgegangen sind. Unsere Forschungsprojekte sind mit enormen Mitteln gefördert worden und wir konnten auch mit Berliner Kollegen den ersten Sonderforschungsbereich in Berlin gründen. Mein Publikationsverzeichnis weist gerade nach der Wende eine fast bis heute wachsende Produktivität aus. Das steht alles auf der positiven Seite, ebenso wie großartige neue Chancen wissenschaftlichen Austauschs und besonders auch meine Mitarbeit in der Leibniz-Sozietät.

Am Schluss möchte ich mich zuerst entschuldigen, dass ich mich etwas in Erinnerungen verloren habe, aber erinnere an das eingangs erwähnte Motto von *Theodor Fontane* (1819–1898). Mein Eindruck ist auch, dass die Historiker noch versäumt haben, wichtige Fakten zur Wende in Berlin, besonders zu den spontan gebildeten demokratischen Gremien, aufzuarbeiten. Dann bedanke mich von ganzem Herzen bei den Organisatoren und Rednern des heutigen Kolloquiums und bei der Präsidentin und dem Präsidium für die Unterstützung.

Bibliographie

Ebeling, Werner / Feistel, Rainer (1982): *Physik der Selbstorganisation und Evolution*. Berlin: Akademie-Verlag.

Feistel, Rainer / Ebeling, Werner (2011): *Physics of Selforganization and Evolution*. Weinheim: Wiley – VCH.

Haken, Hermann et al. (2016): *Beiträge zur Geschichte der Synergetik*. Wiesbaden: Springer Spektrum.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 167–173*

Laudatio für Prof. Dr. Heinz-Jürgen Rothe (*1946)

Erdmute Sommerfeld
(Berlin, MLS)

Lieber Heinz-Jürgen, sehr geehrte Frau Präsidentin, sehr geehrte Gäste, liebe Kolleginnen und Kollegen!

Es ist mir eine ganz besondere Freude, unseren langjährigen Sekretar des Plenums zu ehren. Er gehört zum Urgestein unserer Sozietät. Doch der Reihe nach.

Heinz-Jürgen Rothe ist Arbeitspsychologe. Er ist ein Schüler der Klix-Schule. Frühzeitig hat er erkannt, dass die Arbeitspsychologie in ihrer wissenschaftlichen Fundierung auf einer Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung aufbauen muss. In beiden Gebieten zuhause, ist er einer der Brückenbauer dafür. Dieser Grundgedanke spiegelt sich sowohl in seiner Forschungs- und Lehrtätigkeit wider als auch in seiner Zusammenarbeit mit Einrichtungen aus Industrie und Gesellschaft.

Über die wissenschaftliche Arbeit hinaus hat *Heinz-Jürgen Rothe* in unterschiedlichen Institutionen auch seine wissenschaftsorganisatorischen Fähigkeiten unter Beweis gestellt. Eine ganz besondere Würdigung verdient seine elfjährige engagierte und sehr erfolgreiche Tätigkeit in der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin als Sekretar des Plenums und nun als Schatzmeister.

Bevor ich auf diese Charakteristika näher eingehe, die den Wissenschaftler *Heinz-Jürgen Rothe* kennzeichnen, möchte ich kurz einige Stationen seines wissenschaftlichen Lebenslaufes aufzeigen, in denen er sich zum Brückenbauer zwischen der Elementaranalyse menschlicher

Informationsverarbeitung und der Arbeitspsychologie entwickelte und ein engagierter und erfolgreicher wissenschaftlicher Koordinator zwischen Grundlagenforschung und Praxis wurde.

Heinz-Jürgen Rothe schloss sein Studium an der Humboldt-Universität zu Berlin 1970 mit dem Diplom im Fach Psychologie ab. Anschließend begann er seine berufliche Tätigkeit als Wissenschaftlicher Assistent unter Leitung von *Friedhart Klix* im Bereich Grundlagen der Kybernetik des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR. 1973 wechselte er an die Sektion Psychologie der Humboldt-Universität in den Lehrbereich Arbeits- und Ingenieurpsychologie unter Leitung von *Klaus-Peter Timpe*. Dort war er bis 1981 Themenleiter des Forschungsthemas „Mensch-Maschine-Systeme" in der Hauptforschungsrichtung „Kybernetik" bzw. „Kognitive Informationsverarbeitung".

Seine Habilitation für das Fach Arbeitspsychologie hat er 1991 an der Universität Kassel erlangt mit einer Habilitationsschrift zum Thema „Erfassung und Modellierung von Fachwissen als Grundlage für den Aufbau von Expertensystemen".

Von 1983 bis 1985 ging *Heinz-Jürgen Rothe* an die Psychologische Fakultät der Universität Havanna. Dort war er für das gesamte Hauptstudium als Berater bei der Neukonzipierung der Fachausbildung „Arbeitspsychologie" tätig. Er erarbeitete Konzeptionen, die für den Fünfjahreszeitraum beim kubanischen Hochschulministerium eingereicht wurden.

Anschließend setzte er seine Tätigkeit an der Sektion Psychologie der Humboldt-Universität fort – als Wissenschaftlicher Oberassistent am Lehrbereich Arbeits- und Ingenieurpsychologie sowie als Themenleiter des Forschungsthemas „Methodik der Wissenserfassung" im Staatsplanthema „Interaktives Problemlösen".

1995 begann seine Tätigkeit an der Universität Potsdam. Gemeinsam mit Anna-Marie Metz baute er in dem neu gegründeten Institut für Psychologie Forschung und Lehre zur Arbeits- und Ingenieurpsychologie auf und war dort von 2001 bis 2011 Professor für Arbeitspsychologie. 2009 wurde er in die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin gewählt. Gegenwärtig ist er noch an der Universität Potsdam für die Transfer GmbH tätig, die das Ziel hat, Ergebnisse exzellenter Forschung und Lehre wirkungsvoll in den Markt zu übertragen.

Das waren die wichtigsten Stationen seines wissenschaftlichen Lebens-

laufes. Als nächstes spreche ich über *Heinz-Jürgen Rothe* als Brückenbauer zwischen der Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung und der Arbeits- und Ingenieurpsychologie.

Die Besonderheit der arbeitspsychologischen Forschung von *Heinz-Jürgen Rothe* liegt in der Methodologie. Während die Forschung in der Arbeitspsychologie häufig empirisch ausgerichtet ist, hat sich *Heinz-Jürgen Rothe* – und haben sich mit ihm seine Kollegen in der Abteilung Arbeits- und Ingenieurpsychologie an der Humboldt-Universität – stets von den Ergebnissen einer Elementaranalyse der menschlichen Informationsverarbeitung leiten lassen, wie sie unter allgemeinpsychologischem Aspekt von *Friedhart Klix* und seiner Forschergruppe in den vergangenen Jahrzehnten betrieben wurde (vgl. Klix 1971, Klix 1992). Um diesen bedeutenden Unterschied zu illustrieren, sei an einige Ergebnisse erinnert:

So ließ sich *Heinz-Jürgen Rothe* bei den Untersuchungen zur Gestaltung von Verkehrszeichen (zusammen mit *Hartmut Wandke*) von Wissensstrukturen leiten, wie sie von *Walter Kintsch* (Kintsch 1974, Kintsch 1982) beim Textverstehen erarbeitet worden sind (vgl. Rothe/Wandke 1981). Eine weitere Thematik betraf die Analyse des Expertenwissens von Konstrukteuren. Dabei greift er auf die unter Leitung von Friedhart Klix untersuchten Eigenschaften semantischer Relationen (vgl. Klix 1990) zurück (vgl. Rothe/Warning 1991). Für die Entwicklung von Methoden zur Erfassung von Fachwissen, das für den Aufbau von Expertensystemen notwendig ist, legt er Wissensmodelle der Allgemeinen Psychologie (vgl. Klix 1990, Klix 1992) zu Grunde und zeigt, dass technisches Wissen ebenso repräsentiert werden kann wie Alltagswissen (vgl. Rothe et al. 1991, Rothe 1994). Zur Optimierung des Informationsaustausches in Mensch-Maschine-Systemen und zur Codierung stützt er sich auf Wahrnehmungs- und Klassifizierungsprozesse (vgl. Klix 1974, Klix 1985), wie sie in der Allgemeinen Psychologie untersucht wurden (vgl. Rothe/Kolrep 1996, Rothe 2018).

Die Fundierung der Arbeits- und Ingenieurpsychologie auf einer Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung spielte auch weiterhin in seiner Tätigkeit an der Universität Potsdam eine wesentliche Rolle. Das betraf insbesondere Analysen zum Wissensmanagement und die Entwicklung wissensdiagnostischer Verfahren sowie Verfahrensentwicklungen zur Analyse und Bewertung von arbeitsbedingten psychischen Belastungen (vgl. Rothe et al. 2011). Von den darauf basie-

renden Publikationen sei hier verwiesen auf das gemeinsam mit Anna-Marie Metz erarbeitete Buch mit dem Titel *Screening psychischer Arbeitsbelastung. Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung* (vgl. Metz/Rothe 2017).

Mit der – sehr plausiblen aber schwer durchsetzbaren – Denkweise, dass die in Alltagssituationen ablaufenden Wahrnehmungs-, Denk- und Gedächtnisprozesse ebenso in der Arbeits- und Ingenieurpsychologie gelten, gehört *Heinz-Jürgen Rothe* zu denjenigen Forschern, die der Arbeits- und Ingenieurpsychologie eine ganz neue Grundlage gegeben haben.

Ich komme nun zu einem weiteren Charakteristikum: Heinz-Jürgen Rothe als wissenschaftlicher Koordinator von universitärer Forschung mit Anwendungen in Industrie und Gesellschaft.

Im Anschluss an seine Promotion 1977 absolvierte *Heinz-Jürgen Rothe* noch ein postgraduales Studium, das er mit der Berufsbezeichnung „Fachpsychologe der Industrie" abschloss.

Zahlreich sind die Forschungsprojekte, die er gestaltet und mitgestaltet hat und die auch international Resonanz gefunden haben. In vielen Fällen war die Industrie Auftraggeber.

Ein Beispiel aus der Zeit zwischen 1973 und 1975 ist das Forschungsprojekt „Psychologische Gestaltung von zentralen Überwachungseinheiten". Auftraggeber war das Geräte- und Reglerwerk Teltow. Ein Forschungsprojekt, das seit 2007 bearbeitet wird, beinhaltet komplexe Arbeits-, Belastungs- und Krankenstandsanalysen bei der Lebenshilfe GmbH Berlin.

In den dazwischenliegenden Jahren gehörten zu den Auftraggebern bzw. Projektträgern der zahlreichen Forschungsprojekte z. B. die Bezirksdirektion des Straßenwesens Berlin, das Kombinat Kraftwerksanlagenbau, das Amt für Industrielle Formgestaltung, die Staatsbank der DDR und – ab 1991 – das Bundesministerium für Forschung und Technologie, das Bundesministerium für Bildung und Forschung, das Bundesministerium für Arbeit und Soziales sowie das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.

Die wissenschaftlichen Arbeiten von *Heinz-Jürgen Rothe* sowie seine Erfahrungen bei der Zusammenarbeit der Wissenschaft mit der Industrie und mit Institutionen der öffentlichen Verwaltung kamen auch seiner umfangreichen Lehrtätigkeit zugute und waren Bestandteil von Vorlesungen und Seminaren. Nicht zuletzt der Verbindung zwischen Grundlagenforschung und Anwendung ist es zu verdanken, dass *Heinz-*

Jürgen Rothe in der Lehre so viel Resonanz erfuhr und an Universitäten gefragt war. So hat er Vertretungsprofessuren und Gastprofessuren an mehreren Universitäten wahrgenommen und in Berlin, Havanna, Kassel, Leipzig, Trier, Innsbruck, Clausthal und Potsdam gelehrt.

Ein drittes wesentliches Charakteristikum, das ich ansprechen möchte, betrifft Heinz-Jürgen Rothe als Wissenschaftler und Wissenschaftsorganisator.

Mit seinem Anspruch, Praxisanforderungen durch wissenschaftliche Grundlagen zu fundieren sowie mit den zahlreichen erfolgreich durchgeführten Projekten hat *Heinz-Jürgen Rothe* belegt, dass sein wissenschaftliches Lebenswerk – die ingenieurpsychologische Elementaranalyse und Gestaltung des Kodierungsprozesses im Mensch-Maschine System und deren Auswirkung auf die Gesundheit – dem Geist der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin unmittelbar entspricht. Das hat er auch in der Leibniz-Sozietät in Vorträgen und Publikationen zum Ausdruck gebracht (vgl. Rothe 2016, 2018, 2020). Seine Publikationsliste weist ihn als einen profunden Wissenschaftler aus, der sich mit hohem Engagement an der wissenschaftlichen Kommunikation beteiligt.

Über die wissenschaftliche Arbeit hinaus hat er seine wissenschaftsorganisatorischen Fähigkeiten unter Beweis gestellt. Beispiele dafür sind seine erfolgreiche Arbeit als Wissenschaftlicher Sekretär an der Sektion Psychologie der Humboldt-Universität von 1973 bis 1982 sowie seine verantwortungsvolle Tätigkeit von 2004 bis 2008 als Vorsitzender des Organisationskomitees des 29. Internationalen Kongresses für Psychologie 2008 in Berlin.

Besonders verdienstvoll ist seine elfjährige Tätigkeit in der Leibniz-Sozietät als Sekretar des Plenums in der Zeit von 2010 bis 2021. Die Arbeiten im Rahmen dieser arbeitsaufwändigen ehrenamtlichen Funktion führte er mit Umsicht und großem Engagement sehr erfolgreich durch. 2016 wurden seine Leistungen mit der Verleihung der Daniel-Ernst-Jablonski-Medaille gewürdigt. Mit seinem wissenschaftlichen und wissenschaftsorganisatorischen Wirken hat sich *Heinz-Jürgen Rothe* um den Wissenschaftsbetrieb und die innere Organisation der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin große Verdienste erworben!

Lieber Heinz-Jürgen,

hab auch Dank für Deine langjährige Freundschaft! Viele gute Wünsche für Dich! Bleib gesund und weiterhin voller Schaffenskraft – nicht zu-letzt für unsere Sozietät!

Bibliographie

Kintsch, Walter (1974): *The Representation of Meaning in Memory*. Hillsdale, NJ.: Erlbaum.

Kintsch, Walter (1982): „The role of knowledge in discource comprehension: A construction integration model". *Psychological Review* 95, 163–182.

Klix, Friedhart (1971): *Information und Verhalten*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Klix, Friedhart (Hrsg.) (1974): *Organismische Informationsverarbeitung*. Berlin: Akademie-Verlag.

Klix, Friedhart (1985): „Über Basisprozesse für geistige Dispositionen". *Zeitschrift für Psychologie* 193/1-2, 27–50.

Klix, Friedhart (1990): „Wissensrepräsentation und geistige Leistungsfähigkeit im Lichte neuer Forschungsergebnisse der kognitiven Psychologie". *Zeitschrift für Psychologie* 198, 165–187.

Klix, Friedhart (1992): *Die Natur des Verstandes*. Göttingen: Hogrefe.

Metz, Anna-Marie / Rothe, Heinz-Jürgen (2017): *Screening psychischer Arbeitsbelastung. Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Rothe, Heinz-Jürgen / Wandke, Hartmut (1981): „Analysen zur Wahrnehmung von Verkehrszeichen". *Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin*, *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe* 30, 347–355.

Rothe, Heinz-Jürgen / Warning, Joachim (1991): „Zur Identifikation von semantischen Relationen im fachspezifischen Gedächtnisbesitz von Experten mittels Analogiebildung". *Zeitschrift für Psychologie (Supplement 11)*, 375–384.

Rothe, Heinz-Jürgen / Timpe, Klaus-Peter / Warning, Joachim (1991): „Methodenkritische Analyse von Fachwissen". *Kognitive Prozesse und geistige Leistungen*. hrsg. von Friedhart Klix, Erwin Roth, Elke van der Meer. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 206–233.

Rothe, Heinz-Jürgen (1994): „Erfassung und Modellierung von Fachwissen als Grundlage für den Aufbau von Expertensystemen. Teil

1: Ausgangsbedingungen und Konzeption". *Zeitschrift für Psychologie* 202/3, 201–215. „Teil 2: Methodenkritische Analysen". *Zeitschrift für Psychologie* 202/4, 321–348.

Rothe, Heinz-Jürgen / Kolrep, Harald (Hrsg.) (1996): *Psychologische Erkenntnisse und Methoden* als *Grundlage für die Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen*. Berlin: Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS).

Rothe, Heinz-Jürgen / Debitz, Uwe / Metz, Anna-Marie (2011): „Arbeit in Call Centern – Arbeit am virtuellen Fließband?". *Gesundheitsförderung und Gesundheitsmanagement in der* Arbeitswelt. *Ein Handbuch*, hrsg. von Eva Bamberg, Antje Ducki, Anna-Marie Metz. Göttingen: Hogrefe, 633–652.

Rothe, Heinz-Jürgen (2016): *Gesundheitsgefährdungen infolge psychischer Belastung in Arbeitsprozessen.* Vortrag in der Sitzung der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 11. Februar 2016.

Rothe, Heinz-Jürgen (2018): „Mensch-Maschine-Systeme in der Industrie 4.0 – Zur Aktualität der ingenieurpsychologischen Arbeiten von Friedhart Klix". *Friedhart Klix. Naturwissenschaftler, Psychologe, Vordenker,* hrsg. von Werner Krause, Erdmute Sommerfeld (= Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 135). Berlin: tra*f*o Verlag, 143–152. – URL: https://leibnizsozietaet.de/-wp-content/uploads/2018/08/13-Heinz-Jürgen-Rothe.pdf

Rothe, Heinz-Jürgen (2020): „Arbeit 4.0 – alte und neue arbeitswissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Probleme". *Zukunft der Arbeit – Soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von „Digitalisierung" und „Künstlicher Intelligenz",* hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski. Tagung der Leibniz-Sozietät am 13. Dezember 2019 in Berlin, Hochschule für Technik und Wirtschaft (= Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 67). Berlin: tra*f*o Verlag, 21–39.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 175–189*

Arbeitspsychologie im Spannungsfeld zwischen allgemeinpsychologischen Theorien, interdisziplinären Bezügen und praktischem Nutzen

Anna-Marie Metz
(Berlin / Potsdam)

Abstract
Work psychology is generally considered an "applied" science in the canon of psychology. But what is "applied"? On the one hand, the article exemplifies the necessary anchoring in and the indirect practical benefit of general psychological findings. On the other hand, the extraordinary advantages of trans- and interdisciplinary cooperation with disciplines such as occupational medicine, physiology, epidemiology, and engineering are discussed by means of selected examples from the broad field of research on the relationship between (gainful) employment and health. A number of examples will demonstrate how such a synopsis can be transformed beyond the pursuit of knowledge into tools for analysis and intervention that can be used directly in practice.

Resümee
Arbeitspsychologie gilt im Kanon der Psychologie gemeinhin als „Angewandte" Wissenschaft. Was aber wird „angewendet"? Im Beitrag wird zum einen die notwendige Verankerung in und der mittelbare praktische Nutzen von allgemeinpsychologischen Erkenntnissen exemplarisch dargestellt. Zum anderen werden an ausgewählten Beispielen aus dem breiten Forschungsfeld zum Zusammenhang zwischen (Erwerbs-)Arbeit und Gesundheit die außerordentlichen Vorzüge trans- und interdisziplinärer Kooperation mit arbeitsmedizinischen, physiologischen und epidemiologischen und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen behandelt. An einigen Beispielen wird demonstriert, wie aus einer derartigen Synopsis über das Streben nach Erkenntnisgewinn hinaus die Transformation in unmittelbar praktisch nutzbare Analyse- und Interventions-

tools gelingen kann.

Keywords/Schlüsselwörter
Industrial psychology, general psychological theories, interdisciplinarity, industrial psychology theory development
Arbeitspsychologie, allgemeinpsychologische Theorien, Interdisziplinarität, arbeitspsychologische Theorieentwicklung

1 Einordnung

Die Entwicklung der Arbeitspsychologie als eigenständige Subdisziplin der Psychologie ist verbunden mit der Industrialisierung um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert. Die Rationalisierung der Erwerbsarbeit, wesentlich getrieben durch die Einführung des Fließbands in der Automobilindustrie, zielte vordergründig auf die Effizienzsteigerung menschlicher Arbeit. „Kopfarbeit" und „Handarbeit" folgten einer strikten Arbeitsteilung in dem Sinne, dass Planen, Organisieren, Auswählen, Entscheiden bezüglich der Verrichtungen den Führungskräften/dem Management vorbehalten waren, hingegen bei den Arbeitern das Aufnehmen eindeutig festgelegter Informationen und das Ausführen vorgeschriebener Bewegungsabläufe verblieben. Die methodischen Voraussetzungen für die notwendigen Zeit- und Bewegungsstudien sowie Reiz-Reaktions-Analysen wurden im Wesentlichen von der Physiologie bereitgestellt. Die Arbeitsmedizin war eine weitere Disziplin, die die Entwicklung der Arbeitspsychologie begleitete. Bereits im 18. Jahrhundert lagen Erkenntnisse zu Berufskrankheiten als negative gesundheitliche Folgen von Erwerbsarbeit vor (vgl. Ramazzini 1700/1998). 1884 wurde angesichts der häufigen und schweren Arbeitsunfälle die gesetzliche Unfallversicherung in Deutschland eingeführt, die in ihren Grundzügen bis heute gilt: Arbeitsunfälle, Berufskrankheiten und sonstige arbeitsbedingte Erkrankungen sind zu verhüten bzw., wenn sie trotzdem eintreten, sind die Gesundheit und berufliche Leistungsfähigkeit des Versicherten mit „allen geeigneten Mitteln" wiederherzustellen. Diese Beispiele mögen die frühe interdisziplinäre Einbindung der Arbeitspsychologie verdeutlichen. Darüber hinaus ist heute eine Vielzahl von benachbarten Wissenschaften Partner der Arbeitspsychologie wie z. B. Ingenieurwissenschaften, Ergonomie, Toxikologie, Arbeitssoziologie u.a.

Die disziplinäre Einbindung der Arbeitspsychologie verlief hingegen weniger stringent, war doch die Psychologie als experimentelle und empirische Wissenschaft erst im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts mit der Gründung des weltweit ersten Instituts für experimentelle Psychologie in Leipzig als eigenständiges universitäres Fach etabliert, zunächst noch ohne ausgewiesene Anwendungsinteressen. Zwar veröffentlichte *Hugo Münsterberg* bereits 1912 die Monografie „Psychologie und das Wirtschaftsleben", jedoch noch mit wenig theoretischem Bezug zur akademischen Psychologie. Eher ging es um die Nutzung von experimentellen Methoden, die sich im Labor bewährt hatten: „Das psychologische Experiment soll planmäßig in den Dienst des Wirtschaftslebens gestellt werden…" (vgl. Münsterberg 1912: 9). Als Zielbereiche sind in unserem Kontext zu nennen: Auslese geeigneter Arbeitskräfte, Gewinnung bestmöglicher Leistungen durch Lernen und Training und Vermeidung von schädigenden Einflüssen wie Ermüdung und Monotonieerleben.

Theoretische Konzepte und Erkenntnisse aus der psychologischen Grundlagenforschung, insbesondere aus der Sozialpsychologie, wurden erst etwa seit Mitte des vorigen Jahrhunderts zunehmend beachtet und aufgegriffen. Auch wenn von Anbeginn die hohe Effektivität der Arbeitsleistung im Fokus stand, wurden in dieser Zeit die Wirkungen der Erwerbsarbeit auf den arbeitenden Menschen in die Betrachtung einbezogen, genauer, die soziale Einbindung des Arbeitenden wurde als notwendige Voraussetzung zum nachhaltigen Funktionieren eines Unternehmens erkannt – der soziotechnische Systemgedanke war geboren. Diese Entwicklungslinie ist verbunden mit der Forderung nach einer menschengerechten Gestaltung der Arbeitsaufgaben und -bedingungen, der Organisation der Arbeitsprozesse; kurz, der Humanisierung des Arbeitslebens (vgl. Ulich 2005).

In dem Maße, wie die erwähnte Trennung in „Kopf-" und „Handarbeit" aufgehoben wurde, gewann die menschliche Informationsverarbeitung in arbeitspsychologischer Forschung und Praxis Bedeutung. Wahrnehmen und Bedeutungserkennen, Gedächtnis und Denken, Lernen, Beurteilen und Entscheiden, Problemlösen und Kreativität bestimmen mehr und mehr die Effektivität von Arbeitsprozessen. Nach den vorwiegend durch manuelle und später mechanisierte Prozesse geprägten (Fertigungs-)Phasen spricht man heute von der sog. Arbeit 4.0. Sie ist charakterisiert durch eine umfassende Digitalisierung, die

über die Arbeitswelt hinaus den gesamten Lebensalltag durchdringt (vgl. Rothe 2018).

2 Theoretische Begründung arbeitspsychologischer Forschung

Wie beschrieben, war die Arbeitspsychologie zunächst ein von der technischen und technologischen Entwicklung getriebenes Anwendungsgebiet der Psychologie. Sie hatte eine eher praktizistische, wenn auch empirisch gestützte Ausrichtung. Das zeigte sich auch in den vorzugsweise verwendeten Erhebungsmethoden: Dominierten in den ersten drei Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts noch Methoden, die deutlich die Handschrift der experimentellen Psychologie trugen, wie z. B. Beobachtungen und Messungen an realen Arbeitsplätzen, rückten seit den 1960er Jahren schriftliche und mündliche Befragungen der Beschäftigten in den Fokus US-amerikanischer und (west-)deutscher Wissenschaftler. Arbeitspsychologen der DDR hingegen pflegten sowohl in der akademischen Lehre wie in Praxisprojekten Tätigkeitsbeobachtungen und Simulationsexperimente, wie es *Heinz-Jürgen Rothe* am 02. 02. 2012 in seiner Abschiedsvorlesung „Quo vadis Arbeitspsychologie" an der Universität Potsdam, Department Psychologie, eindrucksvoll nachwies.

2.1 Meilensteine der arbeitspsychologischen Theorieentwicklung

1971 publiziert Friedhart Klix *Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung*; 1973 erscheint die *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten* von Winfried Hacker. Damit waren wesentliche theoretische Fundamente gelegt, die nicht nur im deutschsprachigen Raum die Entwicklung der Arbeitspsychologie prägten und bis heute ihren Einfluss nicht verloren haben. Mit den Elementaranalysen der menschlichen Informationsverarbeitung bot *Klix* nicht nur zahlreiche Anknüpfungspunkte und Anregungen für die Lösung praktischer (ingenieur-)psychologischer Probleme, sondern zog selbst die Verbindung zur Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen, wie *Rothe* es 2018 im 135. Sitzungsbericht der Leibniz-Sozietät (vgl. Rothe 2018) und in diesem Band darlegte. Die Gestaltung der Schnittstellen Mensch-Technik, resp. Mensch-Computer und heute der Kollaboration von Mensch und

Roboter ist ohne die Berücksichtigung der Eigenschaften menschlicher Informationsverarbeitung nicht vorstellbar. Hier geht es um mehr als die Beachtung sinnesphysiologischer Leistungsmerkmale zur Reizaufnahme und -diskriminierung. Ebenso wichtig sind die adäquate Kodierung, das Erkennen der informationellen Bedeutung, der Abgleich mit dem bereits gespeicherten und verfügbaren Gedächtnisbesitz, dem Planen und Entwerfen der Mittel und Methoden zum Erreichen der fremd- oder selbstgesetzten Ziele.

Winfried Hacker entwickelte mit der Handlungsregulationstheorie eine umfassende Konzeption zur theoretischen Begründung der Arbeitspsychologie. Sie integriert „…die regulierenden mentalen – also neben kognitiven auch motivationalen und emotionalen – Prozesse, Repräsentationen und Eigenschaften und die regulierten Vorgänge – also die Bewegungen, Handlungen und Tätigkeiten einschließlich ihrer motorischen Anteile …“ (vgl. Hacker/Sachse 2014: 25–26). Winfried Hacker beschreibt differenziert die Regulation der Vorbereitung von Tätigkeiten („Antriebsregulation“) und deren Durchführung („Ausführungsregulation“). Die Antriebsregulation bezieht sich auf die regulierende Funktion von – aus den Arbeitsaufgaben abgeleiteten – Absichten, Vornahmen oder Vorsätzen einerseits und auf Interessen, Bedürfnisse, Überzeugungen des Arbeitenden andererseits. Sie richtet Arbeitstätigkeiten auf das Erreichen der vorgegebenen und selbst gesteckten Ziele. Die Ausführungsregulation bestimmt, auf welche Weise gehandelt wird. Sie schließt eine differenzierte Analyse des zu erreichenden Ziels, der Möglichkeiten, es zu erreichen, einschließlich der verfügbaren Arbeitsmittel sowie des individuellen Wissens und Könnens ein. Die Ausführungsregulation erfolgt auf verschiedenen (hierarchischen) Regulationsebenen; deren bestbeschriebene sind die automatisierte oder sensomotorische Regulation im Sinne von Routinen und Fertigkeiten, die perzeptiv-begriffliche Regulation im Sinne von wissensbasierten Regeln und Zuordnungen sowie die intellektuelle Ebene, die auf Heuristiken, Strategien und Pläne zugreift. Die inhaltliche Nähe zu den von *Friedhart Klix* formulierten Grundsätzen der menschlichen Informationsverarbeitung ist trotz unterschiedlicher Terminologie augenfällig, wie sich überhaupt die Monografien von *Winfried Hacker* oft auch als allgemeinpsychologische Ausführungen lesen. Nicht ohne Grund bekleidete der Arbeitspsychologe *Hacker* seit 1990 die Professur für Allgemeine Psychologie an der TU Dresden. Die Arbeiten von *Hacker* sind

theoretische Basis für Arbeitsanalysen, für die Gestaltung von Arbeitsaufgaben und Arbeitsbedingungen sowie für die Untersuchung der (Rück-)Wirkung von Tätigkeiten auf die Beschäftigten.

2.2 Praxis der Theorie

Generelles Ziel der Arbeitspsychologie ist die Bestgestaltung der menschlichen Arbeit, die zum Einen eine hohe Effektivität der Arbeitsleistung ermöglichen, zum Anderen vom Beschäftigten als positiv, befriedigend und herausfordernd erlebt werden soll. Was aber ist eine gut gestaltete, menschengerechte, also humane Arbeit? Viel zitiert wird *Eberhard Ulich*:

> Als human werden Arbeitstätigkeiten bezeichnet, die die psychophysische Gesundheit der Arbeitstätigen nicht schädigen, ihr psychosoziales Wohlbefinden nicht – oder allenfalls vorübergehend – beeinträchtigen, ihren Bedürfnissen und Qualifikationen entsprechen, individuelle und/oder kollektive Einflussnahme auf Arbeitsbedingungen und Arbeitssysteme ermöglichen und zur Entwicklung der Persönlichkeit im Sinne der Entfaltung ihrer Potentiale und Förderung ihrer Kompetenzen beizutragen vermögen. (vgl. Ulich 2005: 149)

In Konkretisierung dieser allgemeinen Beschreibung und abgeleitet auch aus der Handlungsregulationstheorie lassen sich sog. Kernmerkmale der Arbeit benennen, die dieser allgemeinen Beschreibung entsprechen, die Qualität von Arbeitstätigkeiten charakterisieren und zur psychischen Gesundheit der Beschäftigten beitragen. Deren einflussreichste sind die hierarchische und sequentielle Vollständigkeit, die Vielfalt und die Sinnhaftigkeit der Aufgaben, der Tätigkeits- und Entscheidungsspielraum, die inhärenten Lernpotentiale sowie die sozialen Kontakte. Vollständigkeit bedeutet, dass sowohl sensomotorische wie perzeptiv-begriffliche wie intellektuelle, also vielfältige Regulationen zur Erfüllung der Arbeitsaufgaben erforderlich sind. Lernpotentiale sind gegeben, wenn die bislang erworbenen beruflichen Kompetenzen nicht ausreichen, um dauerhaft den Herausforderungen gerecht zu werden, sondern neues Wissen und neue Routinen zu akquirieren sind. Tätigkeits- und Entscheidungsspielräume wiederum gestatten, Einfluss zu nehmen auf die Art und Weise der Aufgabenerfüllung. Schließlich haben soziale Kontakte als aufgabenbezogene Kooperation und Kommu-

nikation zwischen den Beschäftigten, aber auch zwischen Beschäftigten einerseits, Kindern, zu Pflegenden, Kunden, Klienten andererseits eine wichtige positive oder negative Funktion für Gesundheit und Wohlbefinden Beschäftigter. Diese aus der arbeitsmedizinischen und vor allem aus der arbeitspsychologischen Forschung wohlbekannten Zusammenhänge (vgl. Rothe, I. und Autorenkollektiv 2017) finden ihren Niederschlag in verbindlichen Normen und Standards der Arbeitsgestaltung. *Rothe* (in diesem Band) hat auf eigene Arbeiten zur TGL Norm Bildschirmarbeitsplatz hingewiesen. Arbeitspsychologische Erkenntnisse sind auch Grundlage der internationalen Normen „Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen" (vgl. DIN EN ISO 6385) sowie „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung" (vgl. DIN EN ISO 10075). Eine nachhaltigere Breitenwirkung ist für eine angewandte Wissenschaft kaum vorstellbar!

Darüber hinaus mögen zwei Beispiele den praktischen Nutzen theoretisch begründeter arbeitspsychologischer Forschung demonstrieren.

2.2.1 Beispiel I

Lernen durch Aufgabengestaltung

Die Bedeutung von Lernmöglichkeiten in und durch die berufliche Tätigkeit hat *Bärbel Bergmann* in mehreren Studien gemeinsam mit ihren Mitarbeitern eindrucksvoll nachgewiesen (vgl. Bergmann 2014). Die publizierten Beispiele seien hier genauer dargestellt. In zwei mittelständischen Unternehmen der Präzisionsindustrie wurde das berufsspezifische Wissen von Mitarbeitern mit gleicher beruflicher Qualifikation erhoben. Sie waren entweder als Programmierer und Einrichter oder als Bediener von CNC-Maschinen eingesetzt. Die erstgenannte Gruppe war für die Transformation der Kundenaufträge in die betriebliche Technologie verantwortlich, programmierte die entsprechenden Maschinen und bereitete den reibungslosen Bearbeitungsablauf vor. Diese anspruchsvollen Aufgaben erlaubten selbständige Entscheidungen und das Experimentieren, um die beste Lösung zu finden. Die Programmierer und Einrichter hatten damit im Sinne *Hacker*s vollständige Aufgaben. Sie erhielten Rückmeldung über den Erfolg ihres „Ausprobierens" und konnten dadurch ihr spezifisches aufgaben- und unternehmensspezifisches Wissen erweitern. Die Gruppe der Maschinenbediener hingegen war mit einfachen wiederholten, also im Sinne *Hacker*s unvollständigen Tätigkeiten beschäftigt, indem sie die von ihren Kollegen

geplanten Abläufe in Gang setzte und überwachte. Zwischen beiden Beschäftigtengruppen unterschied sich trotz gleicher Ausgangsqualifikation das berufsspezifische Wissen in Abhängigkeit von der Aufgabenallokation (Tabelle 1).

Wissenskategorie	Programmierer/Einrichter	Bediener
Branchenwissen	80	53
Produkt- und Auftragswissen	95	48
Handlungs- und Methodenwissen	100	47
Fehlerarten	47	78
Fehlersymptome	100	47
Fehlerursachen	65	30
Fehlerfolgen	100	82
Fehlerbehebung	78	39

Tabelle 1: Umfang unternehmens- und berufsspezifischen Wissens (in %) bei Programmierern /Einrichtern (vollständige Tätigkeiten) vs. Bediener (unvollständige Tätigkeiten). (nach Bergmann, 2014).

Analoge Ergebnisse wurden in einem zweiten untersuchten Unternehmen erhoben. Es ist offensichtlich, der Grad der Vollständigkeit resp. Unvollständigkeit der Arbeitsaufgaben und damit der Arbeitstätigkeiten führt bei ursprünglicher gleicher Qualifikation der verglichenen Beschäftigtengruppen zu deutlichen Unterschieden im berufsbezogenen Wissen. Während die Programmierer/Einrichter dank hierarchisch vollständiger Aufgaben ausgeprägte Lernpotentiale in ihrer Arbeit finden, sind die Bediener weniger gefordert auf den Ebenen der intellektuellen und perzeptiv-begrifflichen Handlungsregulation. Ein ähnliches Ergebnis fanden wir bei Beschäftigten in einem Call Center: Die wenig anspruchsvollen Aufgaben im sog. First Level boten kaum Lernchancen und frustrierten die gut ausgebildeten Fachkräfte, hingegen hatten die Beschäftigten im Second Level komplexe Probleme mit hohen Lernpotentialen zu lösen und zeigten sich zufriedener mit ihrer Tätigkeit (vgl. Rothe et al. 2011).

2.2.2 Beispiel II

Analyse und Bewertung arbeitsbezogener psychischer Belastung

Seit 2013 ist im Arbeitsschutzgesetz festgelegt, dass neben physikalischen, biologischen und chemischen Schad- und Belastungsverfahren auch die arbeitsbedingte psychische Belastung bezüglich ihres Risikos für die Gesundheit der Beschäftigten beurteilt werden muss. Basierend auf den theoretischen Konzepten und Ergebnissen arbeitspsychologischer Forschung zur Gesundheitsrelevanz von Arbeitsmerkmalen entwickelten *Rothe* und *Metz* ein Verfahren zur Einschätzung der Gefährdung durch die am jeweiligen Arbeitsplatz gegebene psychische Belastung (vgl. Metz/Rothe 2017; Metz/Rothe 2020). Das Instrument „Screening psychischer Arbeitsbelastung (SPA)" erhebt die relevanten Arbeitsmerkmale mit Hilfe von Arbeitsplatzbeobachtungen und ergänzenden Interviews durch Arbeitswissenschaftler wie auch mit Hilfe von Befragungen der Beschäftigten zu den Arbeitsmerkmalen, zu der erlebten Beanspruchung und den psychophysischen Folgen der Arbeitstätigkeit. Dieses multimethodale Vorgehen hat den Vorzug, die Arbeitssituationen aus beiden Perspektiven, der der Arbeitswissenschaften und der der Beschäftigten zu betrachten. Damit greift die Methodik des SPA auf die oben erwähnten frühen und nach wie vor gültigen Erfahrungen der Arbeitspsychologie zurück, wie bereits im Gliederungspunkt 1 dieses Beitrags dargestellt. Bezogen auf das SPA-Verfahren wird es somit möglich, die psychische Belastung auch von Einzelarbeitsplätzen zu beurteilen, ein Aspekt, der mit zunehmender Diversifizierung von Tätigkeiten wichtiger geworden ist. Hingegen setzen Befragungen immer eine Mindestzahl von bearbeiteten Fragebögen voraus, um verlässliche Aussagen zur Beschaffenheit von (gleichartigen) Arbeitsplätzen zu gewinnen. Im Einzelnen werden Arbeitsmerkmale zu den in Tabelle 2 aufgeführten 5 Bereichen erfasst, die nach gesichertem Forschungsstand in Abhängigkeit von ihrer Ausprägung gesundheitsrelevant sind (vgl. Rothe, I. und Autorenkollektiv 2017).

Analysebereich	Beispielitem (modifiziert)
Handlungs- und Entscheidungsspielraum	Zeitpunkte/Dauer aktiver Beschäftigung a) wird vom Beschäftigten selbst bestimmt b) sind vom Beschäftigten kaum zu beeinflussen
Komplexität/Variabilität	Arbeitsaufgaben sind

	a) ganzheitlich; erfordern Vorbereitung, Ausführung und Kontrolle b) partialisiert; erfordern nur eine Teiltätigkeit (z. B. Ausführung)
Qualifikationserfordernisse	Arbeitsaufgaben erfordern a) häufiges Neu- und Umlernen b) nach der Einarbeitungszeit kaum Neu- und Umlernen
Risikobehaftete Arbeitssituationen/ besondere Anforderungen an Handlungszuverlässigkeit	Arbeitsaufgaben a) erlauben kontinuierliche Zuwendung b) erfordern ständiges paralleles Ausführen von Arbeitstätigkeiten
Belastende Ausführungsbedingungen	Informationen über Arbeitsgegenstände, Arbeitsmittel und Arbeitsmethoden stehen a) zur Verfügung b) müssen mit zusätzlichem Aufwand beschafft werden

Tabelle 2: Analysebereiche des SPA sowie Beispielitems.

Des Weiteren sieht das Verfahren eine eindeutige Beurteilung des Ausmaßes der psychischen Belastung vor und ist damit innerhalb einer Gefährdungsbeurteilung nicht nur kompatibel bezüglich der Beurteilung von Gefährdungen durch physikalische, chemische, biologische Faktoren, sondern legt in analoger Weise fest, ab welcher Ausprägung psychischer Belastung Maßnahmen zur Reduzierung von Gefährdungen erforderlich sind.

2.3 Nutzen interdisziplinärer Einbindung der Arbeitspsychologie

Die (Rück-)Bindung der Arbeitspsychologie an ihre Mutterwissenschaft Psychologie, insbesondere an ihre Teildisziplinen Allgemeine, Sozial- und Entwicklungspsychologie ist unbedingt notwendige Voraussetzung theoretisch basierter praktischer Wirksamkeit. Darüber hinaus sind Nachbarwissenschaften wie Ergonomie, Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie, Epidemiologie und Betriebswirtschaftslehre wichtige Partner in der Umsetzung der empirischen Befunde der Arbeitspsychologie in die betriebliche Praxis. Eine fruchtbare interdisziplinäre Zusammenarbeit ist in mehrfacher Hinsicht herausfordernd. Eine gemeinsame Sprache,

Verständnis für unterschiedliche „Fachkulturen", Grundkenntnisse bezüglich des methodischen Vorgehens und essentieller Erkenntnisse der Nachbardisziplinen sind unerlässlich.

So sind z. B. für Belange eines ganzheitlichen Arbeitsschutzes notwendig: Wissen um die ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen, Wissen um körperliche Belastungen durch schwere, in ungünstigen Körperhaltungen zu verrichtende Arbeit, Wissen um Gesundheitsgefährdungen durch biologische, chemische, physikalische Schad- und Belastungsfaktoren, Kenntnisse aus epidemiologischen Studien zum Zusammenhang zwischen Arbeitsmerkmalen und Unfall- und Gesundheitsgefährdungen. Derartige Arbeitsbedingungen stellen nicht nur Risiken für die physische Gesundheit von Arbeitnehmern dar, sie beeinflussen auch Art und Ausmaß der psychischen Arbeitsbelastung, indem ungünstige Arbeitsumgebungsbedingungen mit erhöhtem kognitivem und emotionalem Aufwand kompensiert werden oder eben auch nicht vollständig zu kompensieren sind. Folglich ist es sinnvoll, Gefährdungsbeurteilungen, wie sie das Arbeitsschutzgesetz vorschreibt, unter Berücksichtigung aller arbeitsbezogenen gesundheitlichen Risiken auszulegen und das schließt die psychische Arbeitsbelastung ein. Einige arbeitshygienische Standards, Normen und Regeln fordern explizit die Einbeziehung psychischer Belastung in die Beurteilung der Leistungs- und Gesundheitsbeeinflussung durch Arbeitsbedingungen. So darf z. B. gemäß der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung von 2017 bei täglich achtstündiger beruflicher Exposition ein Schallpegel von 85 dB(A) nicht überschritten werden, um aurale negative Wirkungen im Sinne einer Berufskrankheit zu verhindern. Niedrigere Schallpegel müssen darüber hinaus bei bestimmten Arbeitstätigkeiten eingehalten werden, um Beeinträchtigungen der Arbeitsleistung abzuwenden:

- Schallpegel von 55 dB(A) dürfen nicht überschritten werden bei Tätigkeiten mit hohen Anforderungen an die Sprachverständlichkeit oder hoher Konzentration, bei Tätigkeiten, die schöpferisches Denken, exaktes sprachliches Formulieren, Verstehen komplexer Texte mit komplizierten Inhalten, Treffen von Entscheidungen großer Tragweite erfordern.
- Schallpegel von maximal 70 dB(A) sind zulässig bei Tätigkeiten mit mittleren oder nicht dauerhaft hohen Konzentrationsanforderungen, bei wiederkehrenden Routineanteilen, beim Treffen von Ent-

scheidungen mit geringer Tragweite sowie bei einer für die Kommunikation ausreichenden Sprachverständlichkeit.

Ich hatte den Vorzug, in den 70er und 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts im Zentralinstitut für Arbeitsmedizin der DDR zu arbeiten, einer Einrichtung, die ausdrücklich auf interdisziplinäre Zusammenarbeit setzte. So war ich Mitarbeiterin eines Teams mit Kollegen aus Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie, Ingenieurwissenschaften, Physik und Mathematik, das zulässige, nicht gesundheitsgefährdende, Expositionen gegenüber mechanischen Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen experimentell begründete; die Ergebnisse fanden Eingang in den „Draft International Standard ISO/Dis 2631 „Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration" (vgl. Bastek et al. 1977; Metz/Meister 1980; Seidel et al. 1980). Dieser Standard definierte drei Arten von Grenzwerten, nämlich exposure limits zur Verhütung physischer Erkrankungen, fatigue-decreased proficiency boundary zur Verhütung von Leistungseinschränkungen sowie reduced comfort boundary zum Erhalt des Wohlbefindens am Arbeitsplatz. In der damaligen Zeit war eine derartige multiperspektivische Bearbeitung durchaus neu, heute ist zwar die Beziehung zwischen Arbeitsumgebungsbedingungen einerseits, (physischer) Gesundheit, Leistung und Wohlbefinden andererseits durchaus akzeptiert, aber die sorgfältige interdisziplinäre wissenschaftliche Bearbeitung ist m.E. doch eher defizitär.

3 Schlussbemerkungen

Der gegenwärtige tiefgreifende Wandel der Arbeitswelt, kurz als Arbeit 4.0 benannt, ist gekennzeichnet durch die digitale Transformation. Nicht nur Arbeitsabläufe und Aufgabenzuschnitte in der industriellen Fertigung werden digitaler, flexibler und vernetzter, sondern auch Entwicklungs- und Wissensarbeit in allen Branchen sind davon betroffen: Die Anforderungen an die berufliche Qualifikation führen zu veränderten Berufsbildern, erforderliche Kompetenzerweiterungen bedürfen strukturierter Weiterbildungen und lebenslangen Lernens, die Steuerung komplexer Prozesse ist mit erhöhten kognitiven Anforderungen verbunden, stärker eigenverantwortliches und selbstorganisiertes Agieren eröffnet Entscheidungsspielräume. Auf den ersten Blick sollte man meinen, Arbeit 4.0 nähert sich dem Leitbild humaner Arbeit. Jedoch ist

nicht zu übersehen, dass zugleich der Anteil von „Basisarbeit" auf gegenwärtig ca. ein Viertel aller Beschäftigten gestiegen ist (vgl. SUGA 2021). Bislang wurden unter diesem Begriff vor allem Einfachtätigkeiten verstanden, die ohne Vorbildung bzw. nach kurzer Einweisung übernommen werden können. Dazu zählen Hilfstätigkeiten wie z. B. die der Reinigungskräfte, Paketzusteller, Sicherheitskräfte, Produktionshelfer, Kassiererinnen. Allerdings können Basisarbeitende durchaus über qualifizierte berufliche Abschlüsse verfügen, die erworbenen Kompetenzen sind jedoch für die Basisarbeit nicht gefordert. Die problematischen Arbeitsbedingungen sind im Bericht zu Gesundheit und Sicherheit bei der Arbeit (vgl. SUGA, 2021) beschrieben: Verglichen mit Beschäftigten, die qualifizierte Facharbeit ausführen, fühlen sich Basisarbeitende häufiger kognitiv unterfordert, verrichten ständig wiederkehrende Aufgaben, deren Ausführung in allen Einzelheiten vorgeschrieben ist, arbeiten in hohem Tempo, sind häufiger an Steharbeitsplätzen, heben und tragen schwere Lasten, sind überwiegend im Mindestlohnsektor beschäftigt und sind häufig sozial weniger abgesichert. Basisarbeitende verfügen über weniger arbeitsbezogene Ressourcen wie Handlungs- und Entscheidungsspielraum und erfahren tendenziell auch weniger soziale Unterstützung von Kollegen und Vorgesetzten. Es wundert nicht, dass sie ihren Gesundheitszustand deutlich ungünstiger beurteilen als Beschäftigte in qualifizierter und hochqualifizierter Facharbeit.

Damit schließt sich der Kreis. In der Corona-Krise richtete sich die Aufmerksamkeit nicht nur auf hochqualifizierte medizinische Berufe, sondern gerade auch auf diejenigen, die „den Laden am Laufen halten", wie es die vormalige Bundeskanzlerin ausdrückte. Basisarbeit ist auch in weniger angespannten Zeiten notwendig und nur zum Teil substituierbar. Es bleibt eine Herausforderung, in diesem Bereich die gleichen Anforderungen an die Gestaltung menschengerechter Arbeit zu stellen.

Bibliographie

Bastek, Rolf / Buchholz, Christian / Denisov, E.I. / Enderlein, Gottfried / Kramer, Hans / Malinskaja, N.N. / Meister, Anneliese / Metz, Anna-Marie / Mucke, Rudolf / Rothe, Reinhard / Seidel, Helmut / Sroka, Christa (1977): „Comparison of the Effects of

Sinusoidal and Stochastic Octave-Band-Wide Vibrations – a Multi-Disciplinary Study. Part I-III". *International Archives of Occupational and Environmental Health* 39/3, 143–164.

Bergmann, Bärbel (2014): „Von der Handlungstheorie zur Aufgabengestaltung". *Psychologie menschlichen Handelns: Wissen und Denken – Wollen und Tun*, hrsg. von Pierre Sachse und Eberhard Ulich. Lengerich: Pabst, 79–87.

DIN EN ISO 10075-1 (2015): *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. Teil 1: *Allgemeine Konzepte und Begriffe*.

DIN / ISO 10075-2 (1996): *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. Teil 2: *Gestaltungsgrundsätze*.

DIN EN ISO 10075-3 (2004): *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. Teil 3: *Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung*.

DIN EN ISO 6385-12 (2016): *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*.

Hacker, Winfried (1973): *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Hacker, Winfried / Sachse, Pierre (2014): *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Tätigkeiten. Göttingen: Hogrefe.*

Klix, Friedhart (1971): *Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung. Einführung in naturwissenschaftliche Grundlagen der Allgemeinen Psychologie.* Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Metz, Anna-Marie / Meister, Anneliese (1980): "Relationship between Stress due to Physical Environmental Factors and Human Reliability". *Library Translation 2049, Ministry of Defense*. Farnborough: Hants, 1–14.

Metz, Anna-Marie / Rothe, Heinz-Jürgen (2017): *Screening psychischer Arbeitsbelastung. Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung.* Heidelberg: Springer.

Metz, Anna-Marie / Rothe, Heinz-Jürgen (2020): *SPA – Screening psychischer Arbeitsbelastung: Manual.* Heidelberg: Springer.

Münsterberg, Hugo (1912): *Psychologie und das Wirtschaftsleben. Ein Beitrag zur angewandten Experimental-Psychologie*. Leipzig: Barth.

Ramazzini, Bernardino (1700, aus dem Lateinischen übersetzt 1998): *Die Krankheiten der Handwerker*. Würzburg: Königshausen und

Neumann.
Rothe, Isabel und Autorenkollektiv der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2017): *Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt. Wissenschaftliche Standortbestimmung*. Dortmund, Berlin, Dresden: baua
Rothe, Heinz-Jürgen. (2018): „Mensch-Maschine-Systeme in der Industrie 4.0 – Zur Aktualität der Ingenieurpsychologischen Arbeiten von Friedhart Klix". *Friedhart Klix. Naturwissenschaftler, Psychologe, Vordenker, 1927-2004*, hrsg. von Werner Krause und Erdmute Sommerfeld. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, 143–152.
Rothe, Heinz-Jürgen / Debitz, Uwe / Metz, Anna-Marie (2011): „Arbeit in Call-Centern – Arbeit am virtuellen Fließband?" *Gesundheitsförderung und Gesundheitsmanagement in der Arbeitswelt. Ein Handbuch,* hrsg. von Eva Bamberg, Antje Ducki, Anna-Marie Metz. Göttingen: Hogrefe, 633–652.
Seidel, Helmut / Bastek, Rolf / Bräuer, Dieter / Buchholz, Christian / Meister, Anneliese / Metz, Anna-Marie / Rothe, Reinhard (1980): „On Human Response Prolonged Repeated Whole-Body Vibration". *Ergonomics* 23/3, 191–211.
SUGA (2021): *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2020. Unfallverhütungsbericht Arbeit*, hrsg v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales in Zusammenarbeit mit Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/Berlin/Dresden. https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Suga-2020.html
Taylor, Frederick Winslow (1913): *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung*. München: Oldenbourg.
Ulich, Eberhard (^{6}2005): *Arbeitspsychologie*. Zürich: vdf Hochschulverlag.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 191–200*

Worte des Dankes und der Erinnerung

Heinz-Jürgen Rothe
(Berlin / Potsdam, MLS)

Liebe Kolleginnen und Kollegen, liebe Gäste,

zunächst möchte ich mich ganz herzlich für die heutige, auch für mich ehrenvolle Veranstaltung bedanken, insbesondere bei dem Präsidium unter dem Vorsitz von *Gerda Haßler* und der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften unter der Leitung von *Gerhard Pfaff*.

Mein aufrichtiger Dank gilt auch *Erdmute Sommerfeld* für ihre, meine wissenschaftliche Arbeit in den vergangenen 50 Jahren würdigende Laudatio. Als ich 1970 meine berufliche Tätigkeit als Assistent in dem im Aufbau befindlichen Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) begann, gehörte ich zwar dem von *Friedhart Klix* (1927–2004) gegründeten Bereich Grundlagen der Kybernetik an, weilte dort aber nur einen Tag in der Woche und hatte in der übrigen Zeit Lehr- und Forschungsaufgaben im Bereich Arbeits- und Ingenieurpsychologie der Sektion Psychologie an der Humboldt-Universität zu erfüllen. Gleichwohl gehörte *Erdmute Sommerfeld* zu denen, die mich nicht nur freundlich aufnahmen, sondern auch sofort in die von mir sehr geschätzten fachlichen Diskussionen integrierten. Da die „Chemie" zwischen uns stimmte, blieben sie und ihr Mann Rudi mir über die Jahre freundschaftlich verbunden und sie war es auch, die sich für meine Zuwahl in die Leibniz-Sozietät 2009 engagiert hat. Darauf wird noch zurückzukommen sein.

Herzlicher Dank gebührt natürlich ebenfalls *Anna-Marie Metz* für ihren Fachvortrag. Auch wir kennen uns seit mehr als 50 Jahre, hatten wir

doch am gleichen Institut für Psychologie etwas zeitversetzt unsere akademische Ausbildung absolviert. Näher kennengelernt haben wir uns 1972 als wir zusammen mit *Friedhart Klix* als DDR-Vertreter an der Donauländerkonferenz der Psychologen in Smolenice in der Nähe von Bratislava teilnahmen. Wir hatten dann später immer lockeren Kontakt, informierten uns gegenseitig über die jeweiligen Forschungsarbeiten. Ende der 1980er Jahre wurde *Anna-Marie Metz* Vorsitzende der Sektion Arbeits- und Ingenieurpsychologie in der Gesellschaft für Psychologie der DDR und ich war Mitglied im Vorstand. Gemeinsam bemühten wir uns, die Arbeitspsychologen in die nunmehr gesamtdeutsche Gesellschaft zu überführen. Das gelang uns leider nicht; alle mussten ihre Mitgliedschaft neu beantragen. 1995 wurde *Anna-Marie Metz* auf den Lehrstuhl für Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie an die Universität Potsdam berufen und sie fragte mich, ob ich denn nicht mit ihr zusammen Lehre und Forschung im Fach Arbeitspsychologie an dieser Universität aufbauen möchte. Ich habe zugesagt und bis heute arbeiten wir eng zusammen. Im Mittelpunkt unserer Forschungsaktivitäten stand am Anfang die Entwicklung und testdiagnostische Validierung eines Screening-Verfahrens zur Analyse und Bewertung der psychischen Belastung bei Arbeitstätigkeiten und später dessen Einsatz zur Beurteilung von Gesundheitsgefährdungen in unterschiedlichen Arbeitsbereichen wie beispielsweise Industriebetrieben, Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen, Handelsbetrieben oder Behörden. In ihrem Fachvortrag hat *Anna-Marie Metz* (siehe Beitrag „Arbeitspsychologie im Spannungsfeld zwischen allgemeinpsychologischen Theorien, interdisziplinären Bezügen und praktischem Nutzen“ in diesem Band) dieses Forschungsprojekt als Beispiel für die interdisziplinäre Ausrichtung der arbeitspsychologischen Forschung genannt. Sie hat auch zurecht darauf verwiesen, dass zwar gemeinhin die Arbeitspsychologie als psychologische Anwendungsdisziplin firmiert, dass aber für die Analyse und Gestaltung von Arbeitstätigkeiten die allgemeinpsychologischen Erkenntnisse über individuelles Erleben und Verhalten zwar Relevanz besitzen, daraus sich aber nicht einfach ableiten lässt, welche kurz- und langfristigen Folgen bei wiederholt auszuführenden Arbeitshandlungen bei den Arbeitenden auftreten. Die Arbeitspsychologie bedurfte also eigenständiger theoretischer Grundlagen, wie *Anna-Marie Metz* in ihrem kurzen historischen Abriss überzeugend dargelegt hat.

Wenn ich meine eigene wissenschaftliche Arbeit nach dem Diplomabschluss betrachte, liegt zwar eine thematische Vielfalt vor, die Ausgangspunkte waren aber immer praktische Problemstellungen in der Arbeitswelt. Bei ihrer Klärung wurden stets Bezüge zu allgemeinpsychologischen Methoden und Erkenntnissen hergestellt und die Themenbearbeitung erfolgte in Teams.

In den 1970er Jahren resultierten aus den Kooperationsbeziehungen des Bereiches Arbeits- und Ingenieurpsychologie mit dem Geräte- und Reglerwerk Teltow Fragestellungen zur Gestaltung von Leitständen, beispielweise in der chemischen Industrie. Auf riesigen Informationspanelen übermittelten damals Messgeräte und sonstige Signalgeber Daten über das Prozessgeschehen, die von den Leitstandsmaschinisten dahingehend zu kontrollieren waren, ob Abweichungen von vorgegebenen normalen Prozessverläufen vorlagen, um diese dann durch geeignete Bedienhandlungen von einem zentralen Punkt in der Warte aus ferngesteuert an den technischen Anlagen zu beheben. Eine der praktischen Problemstellungen war die nach der optimalen Anordnung der Signalgeber auf dem Informationspanel, damit die Operateure möglichst schnell und fehlerfrei Störungen im Prozessablauf entdecken können. Das war der Ausgangspunkt für umfangreiche experimentelle Untersuchungen, die *Rosemarie Seifert* und ich dann durchgeführt haben. Am Anfang stand der Entwurf eines experimentellen Designs, dessen Leistungsanforderungen durch Studierende als Probanden bewältigbar und die mit ihm gewonnenen Erkenntnisse auf die praktische Situation übertragbar sein sollten. In den Kolloquia des Lehrbereiches wurde die Simulation von Tätigkeiten in Mensch-Maschine-Systemen häufig thematisiert. Grundlagen für die Hypothesenbildung waren die allgemeinpsychologischen Erkenntnisse über Signalentdeckungszeiten und über die Gruppenbildung in Objektmengen (vgl. Klix 1971a). Nach den bereits in den 1920er Jahren formulierten Gestaltgesetzen erfolgen Gruppenbildungen z. B. durch Abstandsvariation („Gesetz der Nähe") oder durch Form, Farbe und andere anschauliche Merkmale („Gesetz der Gleichartigkeit"). Wir entwickelten ein sog. Distanzmaß, das unter der Annahme gebildet wurde, dass die Zeit für die Signalentdeckung auf einem Informationspanel von der Dauer des Augensuchprozesses abhängt, der seinerseits von den räumlichen Verhältnissen zwischen den Signalgebern, insbesondere von den anschaulichen Gruppierungen und den erlernten Häufigkeiten des Auftretens kritischer Signale in den

Signalgebern determiniert wird. Tatsächlich konnte ein linearer Zusammenhang zwischen dem Distanzmaß und der benötigten Signalentdeckungszeit nachgewiesen werden. Die Annahmen über die Augensuchprozesse konnten durch Aufzeichnungen der Augenbewegungen während der Experimente bestätigt werden (vgl. Seifert/Rothe 1974; Rothe/Seifert 1974). Daraus entstand unsere gemeinsam verfasste Dissertation.

Diese und weitere Forschungsvorhaben zur Informationsaufnahme und -verarbeitung in Mensch-Maschine-Systemen, die unter Leitung von *Klaus-Peter Timpe* an der Sektion Psychologie der Humboldt-Universität durchgeführt wurden, waren inzwischen auch in die Hauptforschungsrichtung Kybernetik integriert. (vgl. Rothe/Seifert/Timpe 1980) In dieses staatlicherseits formulierte Forschungsvorhaben war auch das von der DDR-Regierung geplante Projekt einer zentralisierten Straßenverkehrssteuerung in Ost-Berlin aufgenommen worden. Als spezielle Aufgabe übertrug man uns die Mitwirkung an der Planung der Verkehrsleitzentrale. Allerdings war bereits festgelegt, dass als Signalgeber in der Warte nur Bauteile des Werkes für Signal- und Sicherungstechnik Berlin (WSSB), die in allen Stellwerken der Deutschen Reichsbahn im Einsatz waren, zu verwenden sind und die Projektierung des Gebäudes bereits abgeschlossen und somit die Raumhöhe der Warte nicht mehr veränderbar war. Daraus ergab sich aber eine spezielle arbeitspsychologische Fragestellung, denn es stellte sich heraus, dass ein mit WSSB-Bauteilen gefertigtes Informationspanel, das entsprechend dem eingenordeten Ost-Berliner Stadtplan Informationen über alle ampelgeregelten Straßenkreuzungen übermitteln sollte, die Höhe der vorgesehenen Warte weit übertreffen würde. Ich erinnerte mich an die allgemeinpsychologischen Erkenntnisse über mentale Rotationen, wonach Menschen in der Lage sind, Aufgaben zu lösen, die voraussetzen, dass ein dreidimensionales Objekt in der geistigen Vorstellung gedreht wird (vgl. Shepard/Metzler 1971). Daraus entstand die Hypothese, dass man sich auch auf einem in die Horizontale gedrehten Ost-Berliner Stadtplan orientieren kann. Wiederum wurden Simulationsexperimente konzipiert, für die die sektionseigene Werkstatt eine Anlage baute, auf der das gedrehte Berliner Straßennetz mit ampelgeregelten Straßenkreuzungen dargestellt war und an diesen Kreuzungen in zufälliger Folge Signale gesendet werden konnten. Die als Probanden gewonnenen Verkehrspolizisten hatten bei Aufleuchten eines Signals die jeweili-

ge Straßenkreuzung zu benennen. Die Experimente erstreckten sich über mehrere Wochen und es zeigte sich, dass die Verkehrspolizisten von Tag zu Tag immer besser und schneller in der Lage waren, die Signale korrekt zuzuordnen. Leider wurde die Verkehrsleitzentrale nicht gebaut, so dass diese Forschungsergebnisse nicht umgesetzt werden konnten. Das betraf auch die Befunde bezüglich der namentlichen Abkürzung von Straßenkreuzungen für das Verkehrsleitpanel. Sie konnten aber weiter genutzt werden, weil sie sich einordneten in die Befunde der zahlreichen Studien zur Kodierung und Dekodierung von Informationen in Mensch-Maschine-Systemen, die insbesondere auch von *Elke Wetzenstein-Ollenschläger* und *Hartmut Wandke* durchgeführt wurden. Theoretische Basis dieser Forschungsvorhaben waren die von *Friedhart Klix* publizierten wahrnehmungspsychologischen Erkenntnisse (vgl. Klix 1971a) und die daraus abgeleitete Zweistufigkeit der Kodierungs- und Dekodierungsprozesse in Mensch-Maschine-Systemen (vgl. Klix 1971b; Rothe 1992). Empfehlungen für die optimale Gestaltung der Mensch-Computer-Interaktion konnten abgeleitet werden. Bereits 1988 trat der in Verantwortung des Lehrbereichs Arbeits- und Ingenieurpsychologie erarbeitete Teil 5 der TGL-Norm 44690 (Bildschirmarbeitsplatz. Gestaltung des Nutzerinterfaces von Systemen) in der DDR in Kraft. Die inhaltlich mit dieser TGL-Norm weitgehend übereinstimmende gesamtdeutsche DIN-Norm EN ISO 9241 (Bildschirmarbeitsverordnung) lag dann 1996 vor.

Mitte der 1980er Jahre war die Leistungsfähigkeit von Computern so weit fortgeschritten, dass sog. Expertensysteme programmiert werden konnten, die auf der Basis von fachspezifischen Algorithmen Entscheidungsprozesse und Problemlösungen beispielsweise zur Diagnose in der Medizin oder für Strukturanalysen in der Chemie durchführten und zu gleichen Ergebnissen wie die Fach-Experten gelangten. Somit war prinzipiell die Automatisierung einiger menschlicher Denkleistungen möglich. Wegen des hohen Aufwands zur Programmierung und zur Testung der Systeme beziehen sich diese aber nur auf Teile der Kompetenzen von Experten; sie können Experten nicht ersetzen, wohl aber bei der Lösung komplexer Probleme unterstützen. Man bezeichnete sie hinfort als wissensbasierte bzw. wissensorientierte Systeme. Entscheidende Voraussetzung für die Implementierung fachspezifischen Fakten- und Handlungswissens ist deren Modellierung in einer Form, die die Programmierung ermöglicht. Dafür sind Forschungen zur Er-

fassung und Repräsentation von Wissen notwendig. In diese ordnete sich mein Konzept zur Entwicklung eines Instrumentariums zur Erfassung und Modellierung von fachspezifischem Wissen ein. Grundlage waren neben den allgemeinpsychologischen Erkenntnissen über Wissen im menschlichen Gedächtnis (vgl. Ryle 1969; Mandl/Spada 1988) die Befunde über die Unzulänglichkeit des isolierten Einsatzes bekannter Methoden zur Erfassung individuellen Wissensbesitzes. Der methodologische Ansatz sah daher vor, die Methoden Dokumentenanalyse, Beobachtung, „lautes Denken"/Gedankenstichprobe, Interview/schriftliche Befragung, Assoziationsmethode, Sortiermethode und Gruppendiskussion nacheinander einzusetzen und parallel mit den erfassten Wissenseinheiten ein Modell aufzustellen und dieses fortlaufend zu modifizieren bzw. zu präzisieren. Zu jeder Methode wurden umfangreiche methodenkritische Studien mit Novizen (Studierende im Fach Maschinenbau) und Experten (Konstrukteure) durchgeführt. Prototypisches Beispiel war das Wissen über die Bemaßung einer technischen Zeichnung zur Fertigung einer Getriebewelle. Die zusammenfassende Darstellung der theoretischen Grundlagen des Instrumentariums und die experimentellen Befunde der methodenkritischen Analysen wurde als Habilitationsschrift eingereicht (vgl. Rothe 1994a; Rothe 1994b). Weitere Forschungen zur Entwicklung und zum Einsatz wissensorientierter Systeme erfolgten im Rahmen eines Verbundprojektes zwischen dem Psychologischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin, dem Psychologischen Institut der Technischen Universität Dresden und dem Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation Stuttgart (vgl. Hacker/Rothe/Wandke/Ziegler 1995).

Mit dem Wechsel an die Universität Potsdam erweiterte sich auch meine Forschungsthematik. Auf der Grundlage der gedächtnispsychologischen Forschungen von *Friedhart Klix* (vgl. Klix 1992), insbesondere zur Repräsentation von Begriffen und semantischen Relationen im menschlichen Gedächtnis, wurden die Methoden Assoziieren und Struktur-Legen zu wissensdiagnostischen Instrumenten weiterentwickelt und beispielsweise zur Wissenserfassung über Störungsursachen und -behebungen bei Instandhaltern von numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen eingesetzt, um die Inhalte von Trainingsprogrammen zu bestimmen (vgl. Sonntag/Rothe/Schaper 1994). Die Ergebnisse ihrer Anwendung ermöglichten auch die Beurteilung des Wissenserwerbs im Kurs „Management" einer Sparkassenakademie (vgl. Rothe

2006) oder die Kompetenzbeurteilung von Mitarbeitern eines Handelsunternehmens (vgl. Rothe 2007).

Zusammen mit *Anna-Marie Metz* entwickelte ich das Arbeitsanalyseverfahren Screening Psychischer Arbeitsbelastung (vgl. Metz/Rothe 2017), das inzwischen auch als Online-Testverfahren im Rahmen der gesetzlich für Unternehmen vorgeschriebene Beurteilungen der gesundheitlichen Gefährdung ihrer Arbeitsplätze durch psychische Arbeitsbelastungen eingesetzt werden kann (vgl. Metz/Rothe 2020). Für mich von besonderer Freude ist, dass wir – nunmehr schon etliche Jahre im Ruhestand – unsere Zusammenarbeit bis in die Gegenwart fortsetzen und Projekte in Unternehmen und Behörden zur Aufdeckung von arbeitsbedingten Fehlbelastungen und zur Gestaltung von gesundheitsförderlichen Arbeitsaufgaben und Arbeitsbedingungen durch Umsetzung unserer Kenntnisse und Erfahrungen realisieren können.

2009 wurde ich in die Leibniz-Sozietät zugewählt und seit 2010 gehöre ich ihrem Präsidium an. Ich übernahm die Funktion des Sekretars des Plenums von *Erdmute Sommerfeld*. Dank ihrer sorgfältigen Dokumentation geleisteter Arbeit und dank ihrer stets bereitwilligen Beantwortung meiner Fragen zu für mich neuen Problemen konnte ich mich erfolgreich einarbeiten.

Entscheidend aber war, dass ich an Klassen- und Plenarsitzungen und insbesondere an den Veranstaltungen der Arbeitskreise „Prinzip Einfachheit", „Allgemeine Technologie" und „Emergente System" teilnahm. Sie waren für mich in den vergangenen Jahren immer mit Erkenntnisgewinn verbunden, auch wenn ich – vor allem bei den physikalischen, chemischen und mathematischen Erörterungen – nicht immer alles verstanden habe.

Zu Recht wird häufig beklagt, dass zu wenige Sozietätsmitglieder bereit sind, Aufgaben für die Gemeinschaft zu übernehmen. Aber ich habe auch festgestellt, dass bei persönlichen Anfragen in der Regel vertrauensvolles, unterstützendes Verhalten erwartet werden kann. Gefreut habe ich mich z. B. darüber, dass 40 Sozietätsmitglieder, die spätestens 2005 in den Ruhestand getreten waren, bereitwillig an einer anonymen Befragung teilgenommen haben, mit deren Ergebnissen ich nachweisen konnte, dass ein in einer renommierten Fachzeitschrift publizierter Fragebogen seinen Anspruch, Merkmale von im Entstehen

begriffenen Arbeitstätigkeiten (Arbeit 4.0) ermitteln zu können, nicht gerecht wird (vgl. Rothe 2020).

Besonders bedeutsam war und ist für mich die Übereinstimmung mit vielen Kollegen darüber, was wissenschaftliche Arbeit ausmacht und welche moralisch-ethischen Prinzipien dabei Richtschnur sein sollten. In den Diskussionen um den Rücktritt des ehemaligen Präsidenten *Rainer Zimmermann* kam das deutlich zum Ausdruck. Und ich bin mir gewiss, dass wir auch künftig Antworten auf die Grundsatzfragen, was z. B. Fakten von Meinungen, Kritiken von Beleidigungen, wissenschaftliche Erörterungen von Narrativen unterscheidet, innerhalb der Arbeit der Sozietät und im Wirken der Sozietät nach außen finden müssen. Ich hoffe, an den Beratungen darüber noch viele Jahre teilnehmen zu können.

Bibliographie

Hacker, Winfried / Rothe, Heinz-Jürgen / Wandke, Hartmut / Ziegler, Jürgen (Hrsg.) (1995): *Entwicklung und Einsatz wissensorientierter Unterstützungssysteme.* Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben WEDA. Werkstattberichte aus Wissenschaft + Technik 11. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Klix, Friedhart (1971a): *Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung. Einführung in naturwissenschaftliche Grundlagen der Allgemeinen Psychologie.* Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Klix, Friedhart (1971b): „Die Optimierung des Informationsaustausches in Mensch-Maschine-Systemen als psychologische Aufgabenstellung – Versuch einer Präzisierung des Gegenstandsgebietes der Ingenieurpsychologie in der sozialistischen Industrie". *Psychologie in der sozialistischen Industrie*, hrsg. von Friedhart Klix, Jochen Neumann, Andreas Seeber, Klaus-Peter Timpe. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 40–74.

Klix, Friedhart (1992): *Die Natur des Verstandes.* Göttingen: Hogrefe.

Mandl, Heinz / Spada, Hans (1988): *Wissenspsychologie.* München: Psychologie Verlags Union.

Metz, Anna-Marie / Rothe, Heinz-Jürgen (2017): *Screening psychischer Arbeitsbelastung. Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung.* Wiesbaden: Springer.

Metz, Anna-Marie / Rothe, Heinz-Jürgen (2020): *Screening psychischer*

Arbeitsbelastung. Manual. Wiesbaden: Springer.

Rothe, Heinz-Jürgen (1992): „Charakteristik menschlicher Dekodierungsleistungen zur Ermittlung von handlungsrelevanten Informationen". *Zeitschrift für Psychologie* 200, 269–286.

Rothe, Heinz-Jürgen (1994): „Erfassung und Modellierung von Fachwissen als Grundlage für den Aufbau von Expertensystemen. Teil 1: Ausgangsbedingungen und Konzeption". *Zeitschrift für Psychologie* 202/3, 201–215.

Rothe, Heinz-Jürgen (1994): „Erfassung und Modellierung von Fachwissen als Grundlage für den Aufbau von Expertensystemen. Teil 2: Methodenkritische Analysen". *Zeitschrift für Psychologie* 202/4, 321–348.

Rothe, Heinz-Jürgen (2006): „Wissensdiagnose mittels freier Assoziationen". *Kognitionspsychologische Analysen von Gedächtnisprozessen*, hrsg. von Evelin Witruk, Hans-Jürgen Lander. Aachen: Shaker, 153–164.

Rothe, Heinz-Jürgen (2007): „Wissensdiagnose auf der Basis von Assoziieren und Struktur-Legen". *Handbuch der Kompetenzmessung*, hrsg. von Lutz von Rosenstiel, John Erpenbeck. 2. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 85–96.

Rothe, Heinz-Jürgen (2020): „Arbeit 4.0 – alte und neue arbeitswissenschaftliche und ingenieurpsychologische Probleme". *Zukunft der Arbeit*, hrsg. von Peter Brödner, Klaus Fuchs-Kittowski (= Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 67). Berlin: tra*f*o Wissenschaftsverlag, 21–39.

Rothe, Heinz-Jürgen / Seifert, Rosemarie (1974): „Detektionsleistungen bei Variation des Abstandes zwischen Signalgebern". *Organismische Informationsverarbeitung*, hrsg. von Friedhart Klix. Berlin: Akademie-Verlag, 194–202.

Rothe, Heinz-Jürgen / Seifert, Rosemarie / Timpe, Klaus-Peter (1980): "Psychological investigations on receiving and processing of information during work in automated industry". *Psychological Research Humboldt-Universität Berlin 1960-1980*, hrsg. von Friedhart Klix und Bodo Krause. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, 202–224.

Ryle, Gilbert (1969): *Der Begriff des Geistes*. Ditzingen: Reclam.

Seifert, Rosemarie / Rothe, Heinz-Jürgen (1974): „Gruppierungseffekte infolge Signalhäufigkeiten und lokaler Präferenz". *Organismische Informationsverarbeitung*, hrsg. von Friedhart Klix. Berlin: Akademie-

Verlag, 189–193.
Shepard, Roger, N. / Metzler, Jacqueline (1971): "Mental rotation of three dimensional objects". *Science* 171, 701–703.
Sonntag, Karlheinz / Rothe, Heinz-Jürgen / Schaper, Niclas (1994): „Wissenserfassung bei diagnostischen Tätigkeiten in komplexen Fertigungssystemen als Grundlage für die Gestaltung beruflichen Trainings". *Unterrichtswissenschaft* 22/3, 215–232.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *153 (2022), 201–210*

Verzeichnis der Autorinnen und Autoren[1]

Gerhard Banse (*1946 / MLS) studierte von 1964 bis 1969 Chemie, Biologie und Pädagogik an der Pädagogischen Hochschule Potsdam, arbeitete zwei Jahre als Lehrer an der POS Gutengermendorf und war ab 1971 Doktorand an der Sektion Philosophie der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB). Nach der Promotion zum Dr. phil. mit einem technikphilosophischen Thema wirkte er von 1974-2011 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Philosophie der Akademie der Wissenschaften (AdW) der DDR, am Lehrstuhl Technikphilosophie der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus (BTUC), am Institut für Philosophie der Universität Potsdam, am Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistiksystemplanung und Informationssys-teme Cottbus und am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Campus Nord (ehemals Forschungszentrum Karlsruhe GmbH in der Helmholtz-Gemeinschaft). Von 1986-1990 war er Vizepräsident der Urania – Gesellschaft zur Verbreitung wissenschaftlicher Kenntnisse, Berlin. 1981 habilitierte er sich an der AdW der DDR zum Dr. sc. phil. 1988 erfolgte seine Ernennung zum Professor für Philosophie an der AdW der DDR, 2000 die Bestellung zum Honorarprofessor für Allgemeine Technikwissenschaft an der BTUC und Berufung zum Gastprofessor an der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Matej-Bel-Universität Banská Bystrica (Slowakische Republik) sowie 2011 seine Ernennung zum Professor e.h. (ehrenhalber) der Schlesischen Universität Katowice (Polen). 2000 wurde Gerhard Banse zum Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin gewählt, deren Vizepräsident er von 2009-2012 und deren Präsident er anschließend von 2012-2019 war. Seither wirkt er als Vorsitzender des Kuratoriums der Stiftung der Freunde der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften. Zudem war er im Jahr 2002 Gründungsmitglied des LIFIS – Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien, das ihn im Jahr 2019 zum Ehrenmitglied er-

[1] (LS = Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; MLS = Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin).

ernannte. Gerhard Banse ist Herausgeber, Mitherausgeber, Autor bzw. Mitautor von über 450 Buch- und Zeitschriftenpublikationen.

gerhard.banse@t-online.de

Werner Ebeling (*1936 / MLS) studierte Physik an der Universität Rostock und erwarb dort 1959 das Diplom. Er absolvierte anschließend ein Zusatzstudium an der Lomonossov-Universität Moskau bei Prof. Yuri Klimontovich. 1963 promovierte er und 1968 habilitierte er sich an der Rostocker Universität. Ebenfalls in Rostock wurde er 1979 zum Dozenten und Professor für theoretische Physik berufen. Von 1979 bis 2001 wirkte er als Professor und Leiter der Gruppe „Statistische Thermodynamik und Theorie nichtlinearer Prozesse" an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB). Er gab im Laufe der Zeit mehrere Zeitschriften auf den Gebieten „Nichtlineare Prozesse" und „Physikalische Chemie" heraus und verfasste mehr als 30 Buchpublikationen. Seit 1977 war er korrespondierendes und seit 1989 ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR. Im Jahr 1993 gehörte Werner Ebeling zu den Gründungsmitgliedern der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin.

woebel@email.de

Ulrike Feudel (*1957) studierte von 1976 bis 1981 Physik an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB), wo sie 1986 auch promovierte. In den folgenden Jahren war sie u. a. wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Akademie der Wissenschaften der DDR und in einer Max-Planck-Gruppe an der Universität Potsdam, wo sie sich 1996 habilitierte. Seit 2000 ist sie Universitätsprofessorin für Theoretische Physik/Komplexe Systeme am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Forschungsaufenthalte führten sie u. a. an die University of Maryland at College Park (USA), an die University of California at Santa Barbara (USA) und an die Eötvös Lorand Universität Budapest (Ungarn). Im Laufe ihrer beruflichen Entwicklung wurde Ulrike Feudel immer wieder für ihre wissenschaftlichen Leistungen ausgezeichnet, so u. a. mit einem Heisenberg-Stipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Burgers-Professur für Fluiddynamik der University of Maryland at College Park, dem Distinguished Scientist Fellowship der Akademie der Wissenschaf-

ten Ungarns und der Lewis Fry Richardson Medaille der European Geosciences Union.

ulrike.feudel@uni-oldenburg.de

Lutz-Günther Fleischer (*1938 / MLS) diplomierte 1964 auf dem Gebiet der Elektrochemie an der TH Leuna-Merseburg, 1968 Promotion zum Dr.-Ing. (Verfahrenstechnik) ebenda, 1970 Hochschuldozent für Thermodynamik irreversibler Prozesse, 1979 Habilitation an der Humboldt-Universität zu Berlin. Er wirkte an der HUB bis 1994 und 1994 bis 2006 an der Technischen Universität Berlin als Professor für Verfahrenstechnik und Thermodynamik. Die Forschungsarbeiten galten vor allem der Analyse, Bewertung und der physikalisch-mathematischen Modellierung komplexer Transport- und Strukturierungsprozesse sowie physikalisch-chemischen und biotischen Stoffumwandlungen in multikomponentigen Stoffsystemen, wie Informationsaufzeichnungsmaterialien und Biopolymeren sowie Anwendungen in verschiedenen Technologien und der Technologiefolgenabschätzung, ab 1996 zudem der medizinischen Biotechnologie im Forschungsverbund Biotechnologiezentrum der TUB. 2005 bis 2011 Vorstandsvorsitzender des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS); in der LS wirkte er u. a. 2012 bis 2019 als Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften und seit 2019 als Vizepräsident.

fleischer-privat@gmx.de

Gerda Haßler (*1953 / MLS) studierte Romanistik und Slavistik an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und erwarb dort 1974 das Diplom. Danach war sie wissenschaftliche Assistentin an den Wissenschaftsbereichen Allgemeine Sprachwissenschaft und Slavistik. 1978 promovierte sie mit einer Arbeit zu Sprachtheorien der Aufklärung. Nach einem postgradualen Studium an der Lomonossow-Universität Moskau und dreijähriger Tätigkeit an der Pädagogischen Hochschule Zwickau, nahm sie 1982 eine B-Aspirantur an der Martin-Luther-Universität auf und habilitierte sich 1984 mit einer Arbeit zur Entwicklung des semantischen Wertbegriffs vom 18. bis zum 20. Jahrhundert. Nach einer Tätigkeit als Hochschuldozentin an der Universität Halle und einem Ruf an die Technische Universität Dresden war sie von 1993 bis 2020 Universitätsprofessorin für Linguistik und angewandte Sprachwissenschaft (Romanistik) an der Universität Potsdam. Sie war

sechs Jahre Prorektorin ihrer Universität. Sie ist Autorin von 6 Monographien, Herausgeberin von 24 Sammelbänden und 380 wissenschaftlichen Artikeln. Ihre Forschungsschwerpunkte sind funktionale Grammatik und Pragmatik der romanischen Sprachen, Geschichte der Sprachwissenschaft und des Sprachbewusstseins vom 17. Jahrhundert bis zur Gegenwart, Diskurstraditionen und ihre Ausprägung in Kollokationen und Begriffsformationen. Sie ist seit 2018 Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin und seit 2021 deren Präsidentin.

gerda.hassler@uni-potsdam.de

Tilo Heimbold (*1961) studierte von 1984 bis 1988 an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, Fachrichtung Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik mit dem Abschluss als Diplomingenieur. Im Anschluss folgte ein Forschungsstudium, welches 1992 mit der Promotion zum Doktoringenieur abgeschlossen wurde. Danach begann er seine Forschungstätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TH Leipzig und dem FTZ Leipzig im Team von Prof. Werner Kriesel in der Drittmittelforschung. Hier beschäftigte er sich auf dem Gebiet der prozessnahen Datenübertragung in Automatisierungsanlagen u. a. mit Diagnose- und Testtools für das Aktuator-Sensor-Interface. 2004 erfolgte der Ruf als Professor für Prozessleittechnik und Prozessführung an die HTWK Leipzig, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik. Kontinuierlich setzte er seine Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der industriellen Datenkommunikation, speziell der Weiterentwicklung des Aktuator-Sensor-Interface, fort. Es entstanden zahlreiche Publikationen in Fachzeitschriften und Kongressbeiträgen, sowie als Autor und Koautor von mehr als 5 Buchpublikationen mit bis zu 8 Auflagen. Gegenwärtig hat er auch die Funktion des Wissenschaftlichen Direktors des Forschungs- und Transferzentrums Leipzig inne und ist Prodekan für Lehre und Studium der Fakultät Ingenieurwissenschaften.

tilo.heimbold@htwk-leipzig.de

Armin Jähne (*1941 / MLS) studierte von 1961 bis 1966 Alte Geschichte und Osteuropäische Geschichte an der Moskauer Lomonossow-Universität. Daran schloss sich eine mehrjährige Aspirantur an selber Stelle an, die 1970 mit der Promotion zum Dr. phil. endete. Anschließend wechselte er an die Sektion Geschichte der Humboldt-Universität

zu Berlin (HUB), wo er bis 1992 als Bereichsleiter des Gebietes Alte Geschichte tätig war. 1980 erfolgte die Habilitation und die Ernennung zum Hochschuldozenten. 1988 wurde er außerordentlicher Professor. Seit 1996 war er bis zu seiner Pensionierung Mitarbeiter in einem von der DFG geförderten Drittmittelprojekt am Winckelmann-Institut der HUB. Seit 2001 ist Armin Jähne Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, wo er auch mehrere Jahre die Funktionen eines Klassensekretars und des Vizepräsidenten bekleidete. Forschungsgebiete: Alte Geschichte, Wissenschaftsgeschichte, Geschichte Russlands und Südosteuropas, Heinrich Schliemann und dessen Forschungen.

suajaehne@web.de

Horst Kant (*1946 / MLS) studierte Physik (Diplom 1969) und anschließend Wissenschaftstheorie und -geschichte an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB), wo er 1973 auch promovierte. Von 1973 bis 1978 war er als wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent an der HUB tätig. Von 1978 bis 1991 arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft an der Akademie der Wissenschaften der DDR im Bereich Wissenschaftsgeschichte, von 1992 bis 1995 am Forschungsschwerpunkt Wissenschaftsgeschichte und -theorie in Berlin und zuletzt seit 1995 am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin (ab 2011 als Visiting Emeritus Scholar). Seit 2014 ist er Mitglied der Leibniz-Sozietät und seit 2016 dort stellv. Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften. Forschungsgebiete: Geschichte der Physik im 19. und 20. Jahrhundert (speziell Sozial-, Institutional- und Personengeschichte), Geschichte der Radioaktivität und Kernphysik, Entwicklung der Physik in Berlin.

horst-kant@freenet.de

Werner Kriesel (*1941 / MLS) ist Automatisierungsingenieur und Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin seit 2013. Nach dem Studium der Regelungstechnik an der TH Magdeburg war er in der Automatisierungs-Großindustrie in Berlin von 1965 bis 1971 mit der Entwicklung und Projektierung von Automatisierungssystemen befasst und als Abteilungsleiter tätig. Promotion als Externer 1968 an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB). 1971 bis 1979 Hochschuldozent für Regelungstechnik an der TH Magdeburg, dort von 1976 bis

1979 Direktor für Forschung der Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik. Habilitation 1978 an der HUB; danach von 1979 bis 1995 ordentlicher Professor für Automatisierungstechnik an der TH Leipzig, hier von 1981 bis 1990 Direktor für Forschung der Sektion Automatisierungsanlagen, bis 1992 Direktor des Instituts für Automatisierungssysteme. Von 1995 bis 2006 war er Professor für Automatisierungstechnik in Merseburg, von 1994 bis 2021 Leiter des Steinbeis-Transferzentrums „Automatisierungs-, Informations- und Elektrosysteme" Stuttgart/Leipzig (u. a. Zertifizierung des Kommunikationssystems AS-Interface). Mehr als 200 Publikationen auf den Gebieten Automatisierungssysteme sowie industrielle Kommunikation. Aus seinem akademischen Umfeld sind 6 Professoren hervorgegangen.

werner.kriesel@gmx.net

Dirk Lippik (*1966) studierte von 1986 bis 1991 an der Technischen Hochschule Leipzig, Fachrichtung Automatisierungstechnik/Technische Kybernetik mit Abschluss als Diplomingenieur. Danach begann er seine Forschungstätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungssysteme (IfAS) unter Leitung von Prof. Werner Kriesel und an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK Leipzig). Hier beschäftigte er sich zunächst mit der Zuverlässigkeit technischer Systeme, ebenso mit dem Test, der Diagnose und Fehlerbehandlung neuartiger Mikrosysteme. Im weiteren Verlauf forschte er im Bereich der industriellen Datenkommunikation, insbesondere zum Einsatz von Multiprotokollprozessoren. Nach seinem Wechsel an das Forschungs- und Transferzentrum der HTWK Leipzig im Jahr 1997 war er an der Generierung und Bearbeitung zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsvorhaben beteiligt, welche *embedded* Systemanwendungen in der Industrieautomation sowie der Umwelt- und Medizintechnik zum Gegenstand hatten. Im Ergebnis dieser Arbeiten sind zahlreiche Publikationen, Kongressvorträge sowie Patente entstanden. Seit 2007 ist Dirk Lippik Geschäftsführender Direktor des Forschungs- und Transferzentrums Leipzig e.V. Seit 2011 leitet er das Referat Forschung der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig.

dirk.lippik@htwk-leipzig.de

Anna-Marie Metz (*1940) promovierte nach ihrem Psychologiestudium und einer Aspirantur an der Humboldt-Universität zu Berlin 1968 mit einem psychophysiologischen Thema. Von 1968 bis 1990 war sie im Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie in der Arbeitsmedizin tätig, seit 1970 am Zentralinstitut für Arbeitsmedizin der DDR in Berlin-Lichtenberg, mit den Arbeitsschwerpunkten Entwicklung und Erprobung von belastungsmessenden Verfahren, epidemiologische Studien zum Zusammenhang von psychischen Belastungen und Gesundheitszustand, interdisziplinäre experimentelle Forschung zur Wirkung physikalischer Faktoren der Arbeitsumgebung auf Leistung und Befinden sowie psychophysiologische experimentelle Forschung (evozierte Potentiale der bioelektrischen Hirnaktivität) zu Bezugsystemen in der Wahrnehmung, zur Aufgabenschwierigkeit und zum Arbeitsgedächtnis. 1983 erfolgte die Habilitation an der Technischen Universität Dresden. Von 1990 bis 1994 war Anna-Marie Metz am Zentrum für Arbeits- und Umweltmedizin Berlin tätig, wobei sie neben den dortigen Lehrtätigkeiten auch Vertretungen an der TU Dresden, der TU Berlin und der Universität Potsdam wahrnahm. Von 1995 bis 2007 hatte sie eine Professur für Arbeits- und Organisationspsychologie im Institut für Psychologie der Universität Potsdam inne.

metz@uni-potsdam.de

Gerhard Pfaff (*1953 / MLS) studierte von 1973 bis 1978 Chemie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und promovierte dort 1983 mit einer Arbeit im Bereich der Anorganischen Festkörperchemie. Anschließend war er als wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent am Fachbereich Chemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena mit vielfältigen Lehrverpflichtungen auf dem Gebiet der anorganischen Chemie tätig. 1991 begann er seine Tätigkeit bei Merck in Darmstadt in der Pigmentforschung. Seit 1994 war er Leiter der Abteilung Produktentwicklung innerhalb der Forschung für Effektpigmente. 2006 übernahm er die Leitung der Pigmentforschung. Seit 1994 hält er Vorlesungen an der TU Darmstadt, wo er sich 1997 am dortigen Fachbereich Chemie mit einer Arbeit über Erdalkalititanate und Eisenoxide habilitierte. 2008 wurde er zum apl. Professor an der TU Darmstadt ernannt. Er ist Autor von mehr als 150 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und mehr als 70 Patenten. Seit 2018 ist Gerhard Pfaff Mitglied der Leibniz-

Sozietät der Wissenschaften zu Berlin und seit 2019 deren Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften.

pfaff.pigmente@gmx.de

Heinz-Jürgen Rothe (*1946 / MLS) legte sein Abitur 1965 in Schulpforte ab und studierte anschließend Psychologie an der Humboldt-Universität zu Berlin (HUB), wo er 1970 diplomierte und 1977 promoviert wurde. 1987 schloß er ein postgraduales Studium als „Fachpsychologe der Industrie" ab. 1991 erfolgte die Habilitation für Arbeitspsychologie an der Universität Kassel. Rothe arbeitete 1970–1973 am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR unter Friedhart Klix und 1973–1982 an der Sektion Psychologie der HUB. 1983–1985 wirkte er an der Universität Havanna (Kuba), anschließend bis 1991 wieder an der HUB. Nach Vertretungsprofessuren in Kassel, Trier und Leipzig sowie einer Gastprofessur an der Universität Innsbruck war er 2001–2011 Professor für Arbeitspsychologie an der Universität Potsdam. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören wahrnehmungspsychologische Probleme bei Tätigkeiten im Mensch-Maschine-System, Informationsdarbietung in Verkehrsleitzentralen, Wissensdiagnostik und Wissensmanagement sowie betriebliches Gesundheitsmanagement. Seit 2009 ist Rothe Mitglied der Leibniz-Sozietät, 2010–2021 Präsidiumsmitglied und Sekretar des Plenums, seit 2021 ihr Schatzmeister.

hj.rothe@leibnizsozietaet.de

Andreas Schwarcz (*1952 / MLS) studierte von 1971 bis 1973 Wirtschafts- und Planungsmathematik an der TU Wien. In den darauffolgenden Jahren bis 1984 absolvierte er ein Doktoratsstudium für Geschichte, Alte Geschichte und Anglistik sowie ein Lehramtsstudium für Geschichte und Anglistik an der Universität Wien. 1984 promovierte er mit einer Dissertation über Reichsangehörige Personen gotischer Herkunft. Von 1984 bis 1997 war er als Universitätsassistent am Institut für österreichische Geschichtsforschung tätig. Am Ende dieser Zeit habilitierte er sich mit einer Arbeit auf dem Gebiet für Mittelalterliche Geschichte und Hilfswissenschaften. Gleichzeitig wurde er zum außerordentlichen Universitätsprofessor ernannt. In den darauffolgenden Jahren war er Stellvertreter des Direktors sowie Geschäftsführender Direktor des Institutes für österreichische Geschichtsforschung, Mitglied des

Gründungskonvents der Universität Wien, Vorstand des Institutes für Geschichte der Universität Wien sowie Visiting Professor an der Georgetown University Washington D. C. (USA). Seit 2017 ist er im Ruhestand. Andreas Schwarcz ist seit 1999 Präsident der Freunde des Hauses Wittgenstein Wien und Präsident des Vereins für Gesellschaftswissenschaftliche Forschung und seit 2002 Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin.

andreas.schwarcz@univie.ac.at

Erdmute Sommerfeld (*1943 / MLS) studierte Physik an der TH Magdeburg (Diplom 1966). 1969–1990 war sie am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR unter Friedhard Klix tätig; dort promovierte sie 1979 zur Thematik „Analyse und Synthese von Systemlösungsprozessen" und habilitierte sich 1993 auf dem Gebiet „Mathematisch-psychologische Analysen kognitiver Strukturen" an der Humboldt-Universität zu Berlin. Nach einigen Zwischenstationen wirkte sie ab 1994 an der Universität Leipzig (2003 apl. Prof.). Als Gastdozentin war sie an den Universitäten in Jena, Bochum, Braunschweig und Leuven tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die theoretisch orientierte kognitive Psychologie sowie die Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip. Sie ist seit 2004 Mitglied der Leibniz-Sozietät, war 2006–2009 Sekretar des Präsidiums und erhielt 2014 die Daniel-Ernst-Jablonski-Medaille der LS. Sie engagiert sich seit Jahren erfolgreich im Arbeitskreis „Prinzip Einfachheit" der LS.

erdmute.sommerfeld@t-omline.de

Dietmar Telschow (*1956) studierte von 1974 bis 1978 an der TH Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, Fachrichtung Automatisierungstechnik mit Abschluss als Diplomingenieur. Danach begann er eine Industrietätigkeit im Chemieanlagenbau Leipzig/Grimma mit Delegation an den Industrie-Hochschul-Komplex der TH Leipzig und dortiger Forschungstätigkeit im Team von Prof. Werner Kriesel. Ab 1990 arbeitete er an der Grundlagen- und Industrieentwicklung sowie Weiterentwicklung des Sensor-Aktuator-Systems AS-Interface. Er ist Mitinhaber von Patenten und mitbeteiligt am Aufbau des nach DIN EN17025 akkreditierten weltweit einzigen Prüflabors für alle elektrischen AS-Interface-Komponenten. In diesem Zu-

sammenhang arbeitete er in zahlreichen Arbeitsgruppen der Nutzerorganisation „AS-International Association“ und entwickelte spezifischer Test- und Diagnose-Tools. Auch nach Gründung der HTWK Leipzig aus der TH Leipzig im Jahr 1993 setzte er seine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten fort. In diesem Rahmen erfolgten zahlreiche Publikationen zu industriellen Kommunikationssystemen in Buchform, Fachzeitschriften und Kongressvorträgen. Nach 15-jährigem Einsatzerfolg von AS-Interface und erfolgreich abgeschlossener Grundlagenforschung leitete er als Ideengeber die Umsetzung durch die Industrie in eine zweite Generation ein.

telschow@ftz-leipzig.de

Karl Hartmann

Technologie im Dienste der Menschen? Kritische Überlegungen zum Zeitalter von Industrie 4.0

2017, [= Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 50]
225 S., ISBN 978-3-86464-107-7, 29,80 EUR
Infos: http://www.trafoberlin.de/ 978-3-86464-107-7.html

Das 21. Jahrhundert steht im Zeichen des Übergangs zur 4. industriellen Revolution, der damit verbundenen Digitalisierung industrieller und anderer gesellschaftlicher Prozesse. Gleichzeitig vollziehen sich vielfältige und widersprüchliche gesellschaftliche Veränderungen, die diese Prozesse vorantreiben, für einen kleinen Teil der Gesellschaft Vorteile bringen aber für den großen Teil der Gesellschaft auch zum Nachteil gereichen. Die modernen Hochtechnologien der 4. industriellen Revolution bewirken sowohl neue Chancen für die Produktions- und Lebensweise wie neue Gefahren und Grenzen. Immer mehr Menschen bezweifeln auch, dass die kapitalistischen Marktgesetze für das weitere positive Vorwärtskommen ausreichend sind. Die Organisation und die Technologie machen ebenso wie andere Bestandteile des menschlichen und industriellen Reproduktionsprozesses eine fortwährende Entwicklung durch. Nach der Manufaktur (in der ersten industriellen Revolution) wurde die tayloristische Arbeitsteilung zum Wirkungsfeld vieler Industrie- und anderer Branchen. Es waren nicht nur zivile Bereiche, sondern auch eine massenhafte Kriegsproduktion. Eine neue Qualität erreichte die Fließfertigung mit den Veränderungen in der 3. industriellen Revolution. Das zeigt sich zum Beispiel in der Ausdehnung der industriellen Fließfertigung auf immer mehr Zweige wie die Landwirtschaft, den Groß- und Einzelhandel, das Bau- und Verkehrswesen... Gestützt auf die Informations- und Kommunikationstechnik, die Biotechnologie und die Robotertechnik wurde es möglich, die modernen Formen der Fließfertigung **auch auf das Gesundheitswesen** auszudehnen. Hier sind es vor allem die „nichtmechanischen" Technologien, die diesen Fortschritt ermöglichen. Sie könnten in ihrem Kern zu einer Art „intelligenter" Forschungs-, Fertigungs- und Behandlungsweisen führen mit den Schwerpunkten Digitalisierung, neue Qualitäten der (flexiblen) Automatisierung sowie der Molekularisierung und Individualisierung von Diagnose und Behandlungsstratgien.

Bestellungen über jede gute Buchhandlung oder direkt beim Verlag:
trafo Wissenschaftsverlag, Finkenstraße 8, 12621 Berlin
eMail: info@trafoberlin.de Tel.: 030/612 99 418

Plenartagung anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Dr. Friedrich Jung
2015, [= Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 123/124]
260 S., ISBN 978-3-86464-093-3, 26,80 EUR
Infos: http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-093-3.html

Mit den Beiträgen:
Gerhard Banse: Eröffnung und Begrüßung durch den Präsidenten der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin.
Werner Scheler: Friedrich Jung's Weg in die Berliner Pharmakologie.
Horst Klinkmann: Jung's Wirken für die medizinische Wissenschaft und die wissenschaftliche Arzneimitteltherapie.
Peter Oehme: Das Wirken von Friedrich Jung in der Berliner Pharmakologie.
Detlev H. Krüger, Peter Oehme und Werner Scheler: Friedrich Jung – Seine Beziehung zu Helmut Ruska und zur Virologie.
Friedrich Jung (kommentiert von *Peter Oehme*): Wert der Arznei.
Hans-Dieter Faulhaber: Friedrich Jung – persönliche Erinnerungen an den akademischen Lehrer und Gesundheitspolitiker.
Stephan Tanneberger: Was würde Fritz Jung zur „Personalisierten Medizin 2015" sagen?

Sitzung zum 80. Geburtstag von Gisela Jakobasch (Auswahl)
Gerhard Banse: Laudatio zum 80. Geburtstag von Gisela Jacobasch.
Gisela Jacobasch: Hochspezialisierte Diagnostik, Prävention und Therapie bei Patienten mit hämolytischen Anämien verursacht durch genetische Defekte.
Charles Coutelle: Individualisierte Medizin bei genetisch bedingten Erkrankungen.
Rita Bernhardt: Aus der Werkzeugkiste der Natur – Zum Potential von Cytochrom P450 Enzymen in der Biotechnologie.
Götz Nowak und Mercedes Lopez: Personalisierte Therapie bei Gerinnungsstörungen des Blutes.
Thomas Groth, Dieter Peschel, Kai Zhang, Alexander Köwitsch, Steffen Fischer: Cellulosesulfate als bioaktive Glykane für biomedizinische Anwendungen.
Andreas Meisel: Myasthenia gravis: Wenn junge Frauen und alte Männer schwach werden.
Horst Nizze: Altern – Biologie und Pathologie.
Sabine Müller: Zelluläre Mechanismen des Alterns: DNA-Schäden und Telomerenverkürzung.

Bestellungen über jede gute Buchhandlung oder direkt beim Verlag:
trafo Wissenschaftsverlag, Finkenstraße 8, 12621 Berlin
eMail: info@trafoberlin.de Tel.: 030/612 99 418