

JULIUS SCHMID

VON AUSTAUSCHBAREN PHYSI-
KERN, ZUKUNFTSMASCHINEN
UND FLEXIBLEN COMPUTERN

EINE TECHNIKHISTORISCHE TEXTANALY-
SE VON TIM BERNERS-LEES

INFORMATION MANAGEMENT (1989/1990)

Der vorliegende Text basiert auf einer Seminararbeit, die der Autor im November 2022 bei Dr. Ricky Wichum, Technikgeschichte, ETH Zürich eingereicht hat.

1 Im globalen Hyperspace

Im Mai 1998 war das World Wide Web ein reich bevölkerter digitaler Raum, in dem man auf Auktionshäuser, Buchhandlungen und Suchmaschinen treffen konnte. Netscape und Microsoft kämpften in einem *browser war* darum, den Zugriff auf das Web zu gestalten und zu monopolisieren. Die meisten sich im Netz bewegendenden Menschen verstanden «WWW» und «Internet» schon als synonyme Begriffe. Der schillernde dotcom-Hype sollte erst zwei Jahre später im Frühjahr 2000 seinen Glanz einbüßen.¹ Doch für Webinteressierte und Entscheidungsgremien mit globalen Vernetzungsanliegen war nicht nur der Blick in eine vielversprechende Zukunft diskussionswürdig. Auch der Boden der Vergangenheit konnte bestellt werden, um in der Gegenwart Geltung zu erlangen. 1998 tat dies Tim Berners-Lee. Er galt damals wie heute als Erfinder des Webs. Nun schrieb er öffentlich einsehbar, wie das World Wide Web in den 1990er Jahren in die Welt gekommen war – zum Beispiel in einem Blogpost mit dem Titel *The World Wide Web: A very short personal history*. Darin präsentierte er zunächst, wie man das Mensch-Computer-Verhältnis seit den 50er Jahren begriffen hatte: als unüberbrückbare Disparität zwischen dem intuitionsbasierten Verstand des menschlichen Gehirns und der hierarchisch-mechanischen Arbeitsweise eines Computers. Diese Vorstellung entfiel mit dem Auftritt des Webs, den Berners-Lee recht unaufgeregt schilderte: «In 1980 I played with programs to store information with random links, and in 1989, while working at the European Particle Physics Laboratory, I proposed that a global hypertext space be created».² Die Jahreszahl 1989 bezog sich in dieser anekdotenhaften Rückschau auf eine Projektskizze, die Tim Berners-Lee im März dieses Jahres und nach mässigem Erfolg erneut in einer überarbeiteten Version im Mai 1990 am CERN eingereicht hatte. Unter dem noch keineswegs weltläufigen Titel *Information Management: A Proposal* hatte er darin ein allgemeines Dokumentationssystem für die dort ansässigen Projekte, Maschinen, Personen und Manuals skizziert. Vom «globalen Hyperspace» war dort nicht die Rede gewesen.

Die Computergeschichtsschreibung hat Erfinderfigur, Ort und Zeitpunkt dieser Darstellung weitestgehend einstimmig übernommen. In der aktuellen dritten Ausgabe von *Computer: A History of the Information Machine* schreiben Martin Campbell-Kelly und William Aspray: «It was not until 1989 that Berners-Lee and his Belgian collaborator Robert Cailliau got so far as to make a formal project proposal to CERN for [...] what they had grandiosely named the

¹ Für eine Standarddarstellung dieses Zeitraums vgl. Martin Campbell-Kelly et al.: *Computer*, S. 289-296.

² Tim Berners-Lee: *The World Wide Web. A very short personal history*.

World Wide Web.»³ Mit der Namensgebung des Projektantrags nehmen sie es dabei nicht ganz genau. Tatsächlich verwendete Berners-Lee den Namen World Wide Web erst einige Monate nach der Veröffentlichung der zweiten Version des Proposals, nämlich um Weihnachten 1990 für seinen ersten Hypertexteditor auf dem NeXT-Betriebssystem.

Für das WWW existiert augenscheinlich nicht nur eine Gründungsgeschichte am CERN um 1990, sondern auch ein Gründungsdokument. Erstaunlich ist, wie schnell und umstandslos Computerhistorikerinnen und das junge historische Bewusstsein einer digitalen Öffentlichkeit diesen Text in Beschlag nehmen konnten. Er bewies damit eine besondere Anschlussfähigkeit. Nicht nur liess er sich als historischer Ausgangspunkt identifizieren, von dem aus die Vergangenheit schnell erschlossen war. Er konnte ganz im Lichte der technischen Entwicklungen gelesen zu werden, die das Web in der Zwischenzeit genommen hatte oder in Zukunft nehmen würde.⁴ Doch zu seiner Zeit stand das Proposal *Information Management* vor eigenen Aufgaben. Tim Berners-Lee adressierte ein kollegiales Publikum, musste Einwänden begegnen, Darstellungen wählen, Zustimmung generieren. Welche Assoziationen stellte der Text damit her? Wie interagierte er mit Personen, Maschinen, Techniken und Diskursen in seinem Umfeld? Ich will das historische Dokument (in der überarbeiteten Textfassung von 1990) unter diesen Fragen einer *Textanalyse* unterziehen. Diese Literarisierung des technischen Text verfolgt eine Absicht: Sie möchte den Antrag aus dem Jahr 1990 für einen Moment von seiner Rezeption und konventionellen Deutung trennen. Damit gilt es den Blick für die Deutungspraktiken, Verknüpfungen und Sprache zu öffnen, mit denen er damals Bedeutung herstellte, an die man später so hervorragend anknüpfen konnte. Ich lese den Text dabei entlang drei inhaltlicher Schwerpunkte. Ich beobachte nacheinander, wie er ein Problem formuliert, wie er Verständigung erzeugt und wie er Erwartungen organisiert. Diese Fäden führe ich abschliessend unter dem Stichwort der Generalität zusammen, die Berners-Lees Antrag aus einer streng lokalen Pragmatik ableitete.

2 A practical project: Problemkonstruktion

Tim Berners-Lee wollte am CERN eine neuartige Form des Speicherns und des Zugriffs auf Informationen entwickeln. Doch damit seine Kolleginnen diese Art von Projekt als relevant oder sogar dringlich einstufen, musste ihnen erst einmal glaubhaft gemacht werden, dass sie

³ Martin Campbell-Kelly: *Computer*, S. 287.

⁴ Besonders eng verknüpfen Tim Berners-Lees eigene Veröffentlichungen die in der Zukunft zu realisierende Essenz des Webs (the «ultimate destiny») mit der Erzählung des Ursprünglichen («the original»). Vgl. Tim Berners-Lee: *Weaving the Web*, S. 199-209.

mit ihren eingeschliffenen Organisations- und Umgangsformen ein ernstzunehmendes Problem erzeugt hatten. Das CERN hatte sich, so stellte es Tim Berners-Lee auf den ersten Seiten seines Antrags dar, in eine Sackgasse manövriert, ohne davon grossartig Notiz zu nehmen.

Laut Abstract beschäftigte sich das Projekt *Information Management* mit der Verwaltung von «general information about accelerators and experiments at CERN.»⁵ Wenige Zeilen später stand an der Stelle der Beschleuniger und Experimente schon ein herausragendes Exemplar aus dem Maschinenpark des CERN. Tim Berners-Lee verwies auf den *Large Hadron Collider* (LHC), der zu diesem Zeitpunkt noch nicht bewilligt oder finanziert, geschweige denn gebaut war. Im März 1989 stand dem CERN vielmehr eine andere Gegenwart unmittelbar bevor. Das grosse Projekt, das Wissenschaft und Verwaltung am CERN zu diesem Zeitpunkt fertigstellten, war nämlich der Bau eines anderen Teilchenbeschleunigers, des LEP (*Large Electron Positron Collider*). Bis durch den LEP zum ersten Mal ein Strahlenbündel geschossen wurde, dauerte es bis zum Juli 1989.⁶

Man konnte diese Maschine aber schon vor ihrer Inbetriebnahme als Vorgängermodell verstehen. Bereits 1977 erwog der damalige CERN-Direktor John Adams, der 27 Kilometer lange Ringtunnel des LEP könne zu einem späteren Zeitpunkt auch für einen Protonbeschleuniger, den späteren LHC benutzt werden. Der LHC nahm erst im Dezember 2008, also knapp 20 Jahre nachdem Berners-Lee seinen Projektantrag eingereicht hatte, seinen Betrieb auf. In Planung und Bau waren mehr als 10.000 Physikerinnen, Informatikerinnen und Ingenieurinnen involviert.⁷

Dieser langen Vor- und Nachlaufzeit zum Trotz hatte das Schlagwort «LHC» am CERN 1989 Hochkonjunktur. In Berners-Lees Antrag repräsentierte es eine auf die Forschungseinrichtung unaufhaltsam anrückende Zukunft. Demnach liefen Diskussionen über das CERN in der «LHC-Ära» auf eine Frage hinaus: Wie könnte man über so ein grosses Projekt jemals *den Überblick behalten?*⁸ Eine nicht nur wissenschafts- sondern auch zukunftsproduzierenden Einrichtung stand unter immensem Evolutionsdruck und musste mit immenser Komplexität und atemberaubende Veränderlichkeit umgehen. So war das Arrangement von Versuchsanlagen, Computern, Software, Akten und Personen am CERN nicht nur zu einem fixierten Zeitpunkt extrem weitläufig und unübersichtlich. Die sich für die nächsten Jahre abzeichnende fundamentale Umwälzung machte die Orientierungserhaltung in dieser Organisation noch einmal viel

⁵ Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 1.

⁶ Siehe Thomas Taylor, Daniel Treille: *The Large Electron Positron Collider (LEP)*.

⁷ Siehe Thomas Schörner-Sadenius: *The Large Hadron Collider: Background and History*.

⁸ Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 2.

herausfordernder. Aber zumindest die Währung, mit der man in diesem Transformationsprozess bestehen würde, war klar: Information, oder vielmehr «information access».⁹

Berners-Lee spezifizierte seine Leitfrage, indem er das Durcheinander am CERN gleichzeitig als beherrschbar konzeptualisierte. Zunächst stellte er fest: «CERN is a wonderful organization.» Genauer sei es ein Ort, an dem tausende kreative Köpfe zusammenkämen, um auf gemeinsame Ziele hinzuarbeiten. Hierarchie sei dabei zwar nominell durch eine «Verwaltungsstruktur» vorgegeben. In der Realität gleiche die Betriebsstruktur aber eher einem sich organisch entwickelnden und vielfältig vernetzten *web*.¹⁰ Berners-Lee begründete diese These damit, wie verschiedene Personen und Arbeitsgruppen am CERN kommunizierten. Wer am CERN mit einer neuen Aufgabe betraut sei, werde normalerweise an einige Kolleginnen verwiesen, die über nützliche Hinweise und Insidertipps verfügen könnten. Informationen über Einrichtungen und Maschinen verbreiteten sich durch informellen «corridor gossip».¹¹ Dieser Flurfunk operiere, so Berners-Lee, eigentlich erstaunlich erfolgreich, von gelegentlichen Missverständnissen und Mehraufwand einmal abgesehen. Und doch stiess er mit kaum beizukommender Regelmässigkeit auf ein Problem. Das CERN wies schlichtweg eine zu hohe Personalfluktuation auf, um Wissen auf diese Weise zu konservieren: «When two years is a typical length of stay, information is constantly being lost.»¹² Das Problem der Informationsverwaltung via *corridor gossip* hiess Informationsverlust.

Die naheliegende Lösung war ein digitales Speichersystem. So wie das CERN neue Forschung mit immer neueren Mitteln produzierte, konnte ein Experiment dort nur mithilfe eines ebenso dynamischen Mediums dokumentiert werden. Die Lösung wäre ein «Informationssystem», das weder an einem zentralen Ort abgespeichert sei noch einer hierarchischen Ordnung unterliege. Diese Datenbank könne, wie Berners-Lee im Laufe seines Antrags zu erklären versuchte, einmal von jedem PC und jedem Terminal am CERN Zugriff auf verlinkte Dokumente erlauben, die ein beliebiger Rechner am CERN bereitstellte. Im *linked information system* liesse sich eine Datei dynamisch mit einer beliebigen anderen Datei referenzieren. Daraus entstünde ein *web*, in dem eine Userin assoziativ von Information zu Information navigieren würde.¹³ Die zentralen Features dieses Systems – externer Zugriff, Systemportabilität, Dezentralisierung

⁹ Ebd., S. 2.

¹⁰ Tim Berners-Lee: Information Management, S. 3.

¹¹ Ebd., S. 3.

¹² Tatsächlich liess sich 1989 am CERN nicht wirklich von einer «typische Aufenthaltsdauer» sprechen, weil diese schlichtweg eine sehr hohe Varianz aufwies. So besaßen von den 9590 dort tätigen Wissenschaftlerinnen 2963 eine unbefristete Stelle, also immerhin ein Drittel. Siehe CERN: CERN Personnel Statistics 1989.

¹³ Tim Berners-Lee: Information Management, S. 5.

– listete Berners-Lee in der zweiten Hälfte des Antrags als *CERN Requirements*. Es waren also die *Anforderungen*, die speziell das CERN als ein vernetzter und heterogen betriebener Ort an ein *praktisches System* stellte.¹⁴ David Gugerli fasst zusammen, dass Tim Berners-Lee in diesem Schritt «die informationstechnischen mit den organisatorischen Anforderungen des CERN zur Deckung brachte.»¹⁵

Das tat er zudem unter einem bedeutsamen Vorzeichen. Denn die organisatorischen und informationstechnischen Anforderungen am CERN waren, so Berners-Lee, keine lokalen Konditionen: «The problems of information loss may be particularly acute at CERN, but in this case (as in certain others), CERN is a model in miniature of the rest of world in a few years time. CERN meets now some problems which the rest of the world will have to face soon.» Die Vorreiterrolle des CERN schmeichelte nicht nur dem wissenschaftlichen Selbstverständnis. Das CERN, seiner Zeit voraus und mit einem weltweiten Problem noch vor der Welt selbst konfrontiert, befand sich damit unter unvergleichbarem Transformationsdruck: «In 10 years, there may be many commercial solutions to the problems above, while today we need something to allow us to continue.»¹⁶ Berners-Lees Initiativantrag hatte – in einer später wunderbar zitierfähigen Phrase – diesen Notstand gerade erst vermittelt. Dafür spielte nicht nur die Arbeitskultur am CERN eine Rolle. Damit der status quo derart problematisch oder eigentlich kaum hinnehmbar erschien, musste die Institution in ihrer Zukunftsorientierung und -gestaltung begriffen werden. Dafür führte Tim Berners-Lee das CERN (und später die ganze Welt) an eine Periodisierung heran, die ihm seine Institution lokal präsentierte.

3 Computernetze: Schematische und metaphorische Verständigung

Einige Jahre später – das World Wide Web hatte zu diesem Zeitpunkt seine Geburtsstätte hinter sich gelassen – erklärte Tim Berners-Lee, er habe damals am CERN bloss zwei Schlüsseltechniken in eine fruchtbare Verbindung gebracht. Zum einen hatte er in seinem Antrag propagiert, Informationen in verlinkten Hypertextdokumenten zu speichern. Zum anderen sollten diese Dokumente nicht von einem zentralen Rechner aus verfügbar gemacht werden, sondern an einem beliebigen Ort eines Computernetzwerks liegen. Aus dem World Wide Web wurde ganz selbstverständlich ein Internetdienst. Retrospektiv war Tim Berners-Lee zuvor am CERN zur richtigen Zeit mit dem richtigen Interesse ausgestattet gewesen, um Hypertext und Internet bloss

¹⁴ Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 11.

¹⁵ David Gugerli: *Wie die Welt in den Computer kam*, S. 190.

¹⁶ Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 3f.

miteinander «verheiraten» zu müssen.¹⁷ Gerade die Internetprotokolle wussten gut mit der Heterogenität der Betriebssysteme umzugehen, die am CERN im Einsatz waren. Diese «Ignoranz der Betriebslogik der einzelnen Maschinen», wie es David Gugerli nennt, erwies sich für Berners-Lees Vorhaben als äusserst wertvoll.¹⁸ Unter welchen Kennzeichen entwickelte aber Berners-Lees Entwurf von 1990 seinen Vernetzungsansatz? Wie konnte dort Heterogenität angegriffen oder ignoriert werden?

Die Vernetzung des Computerparks am CERN und der europäischen Kernforschung bestimmte in den 1980er Jahren ein grosses Anliegen der CERN-Direktion. Im Januar 1989 stellte das CERN die erste externe Verbindung an das Internet her, nachdem ein Jahr zuvor die dafür zuständige Arbeitsgruppe *Data Communications* die offizielle Unterstützung der Internetprotokolle TCP/IP eingerichtet hatte.¹⁹ Dass sich diese Protokollsammlung nach und nach als de facto Standard für den Betrieb der CERN-Computernetze abzeichnen würde, war kurz zuvor noch nicht absehbar gewesen. Noch 1987 konnte Brian Carpenter, der Arbeitsgruppenleiter von *Data Communications*, nicht erkennen, wie sich der Protokollschungel am CERN mittelfristig lichten sollte. Während TCP/IP beim Betrieb lokaler Netze populär war, griffen die *Wide Area Networks* mit der europäischen Forschungsgemeinschaft für Hochenergiephysik noch auf andere Protokolle zurück: «If one looks at the short and medium term future, the protocol jungle for wide area communication has probably reached its worst. TCP/IP protocols are not expected to be used over WANs in the European HEP community.»²⁰

Tim Berners-Lee reichte seinen Projektantrag also just zwei Monate nach dem Internetanschluss des CERN ein. In Berners-Lees Proposal war davon, genauso wie von Netzwerkprotokollen im Allgemeinen, aber nicht die Rede. Bei der Hochzeit von Hypertext und Internet liess sich einer der beiden Partner nicht blicken. Berners-Lee ging auf die Protokolle, die den Informationsabruf von einem beliebigen Rechner am CERN ermöglichen sollten, nicht ein. Statt auf ein Protokollparadigma vertraute er auf überschaubare Skizzen, um seine Vernetzungsidee zu vermitteln. Die Kommunikation von heterogenen Servermaschinen und einem Browserclient sah darauf denkbar einfach aus. Sie wurde durch einige Pfeile symbolisiert, die zwischen Computerkisten und grauen Servertonnen verliefen.

¹⁷ «I happened to come along with time, and the right interest and inclination, after hypertext and the Internet had come of age. The task left to me was to marry them together.» Tim Berners-Lee: *Weaving the Web*, S. 6.

¹⁸ David Gugerli, *Wie die Welt in den Computer kam*, S. 190.

¹⁹ Siehe Ben Segal, *A Short History of Internet Protocols at CERN*.

²⁰ Brian Carpenter et al., *Two Years of Real Progress in European HEP Networking*, S. 9.

Berners-Lee erklärte weiter, zwischen der Software zum Darstellen (*client*) und der Software zum Abspeichern von Daten (*server*), müsse ein *Interface* verlaufen, parallel zur physischen Trennung von Nutzerin und ferngesteuerter Datenbank. Damit war auf eine bewährte Metapher der Netzwerkarchitektur zurückgegriffen, die die Interaktion der verschiedenen Menschen und Rechner im System erklärte. Der User und sein virtuelles *client*-Doppel stellten durch besagte Schnittstelle hindurch einfache Anfragen an eine Serverkohorte, die sich umgehend um die Auslieferung der gewünschten Information kümmerte – und das, ohne die Gegenseite damit zu behelligen, von welchem lokalen Gerät diese Daten zu beschaffen seien.²¹ Die Entwicklungsphase des *client/server*-Interfaces war ausdrücklich wichtig (immerhin stellte Berners-Lee das in Fettdruck fest). Wie diese Entwicklung in Angriff genommen werden sollte und auf welche Techniken (alias Protokolle) man dabei zurückgreifen würde, erwähnte der Text hingegen nicht. Die metaphorische und streng schematische Verständigung war ausreichend, um die Funktionsweise und Planung des technischen Diensts für den Moment auszublenden. Informationsvernetzung war damit eine alles in allem unkomplizierte und machbare Angelegenheit. Diese Überzeugung goss Berners-Lee drei Jahre später in ein Programm für die Nutzerfreundlichkeit des Webs: «Whatever type of server, [...] users do not need to understand the differences between the many protocols in common use.»²²

4 Hypertext: Erwartungsmanagement

Die Anknüpfungspunkte, die die Internettechnik 1989 bot, assoziierte Berners-Lee also eher verdeckt. Anders verhielt es sich mit dem späteren Pendant Hypertext. Berners-Lee musste sein Projekt zwar in einem linearen Text vorstellen. Auf dem Deckblatt wollte er sein Anliegen aber in ein Netz aus Textfeldern und Verbindungen übersetzen (viel angemessener liess sich ein Hypertext nicht auf dem Medium Papier abbilden). Dort prangte also eine Grafik mit Textblasen, in denen Themen (*Hypertext, hierarchical systems, ENQUIRE*) und Metaeinheiten (*Tim Berners-Lee, This document*) auftraten, und zwischen denen kreuz und quer verschiedenartige Linien (*unifies, includes, describes ...*) verliefen. Dieses Netz war eher überfordernd unübersichtlich, als dass es Aufschluss über Berners-Lees Projekt bot. Die Visualisierung leistete dem Text einen anderen Dienst. Sie identifizierte *das praktische Projekt* (eine Reihe von techni-

²¹ Eine medientheoretische Diskussion des *client/server*-Interfaces und seiner Bezüge zur Figur des Dieners in der europäischen Geschichte schreibt Markus Krajewski, *Der Diener*, S. 501-567.

²² Tim Berners-Lee: *The World Wide Web*, S. 76.

schen, organisatorischen und administrativen Fragen) mit einer formalen *Idee* (vernetzter Information). In diese Idee konnte Berners-Lee konzeptuell einführen, um anschliessend praktische Anknüpfungspunkte am CERN vorzuschlagen. Sie eröffnete einen Argumentationsraum abseits von kalkulierbarer Finanzierung, präzisen Projektphasen oder konkreten technischen Lösungen. Berners-Lee sprach zunächst von «verlinkten Informationssystemen».²³ Das war die Datenbankarchitektur, die durch möglichst wenige systematische Einschränkungen die grösstmögliche Anpassungsfähigkeit erlaubte. Die überholten Alternativen waren Datenbanken mit *keywords* oder einer hierarchischen Baumstruktur. Beide Repräsentationsform liessen sich in Referenzen (*links*) zwischen verschiedenen Datenpunkten (*nodes*) übersetzen – ohne a priori eine bestimmte Form vorauszusetzen.

Berners-Lees Kolleginnen am CERN mochte vor solchen informationstheoretischen Abwägungen ein pragmatischer Umstand optimistisch stimmen: Der Autor des Proposals verfügte bereits über Projekterfahrung mit einem Hypertextprogramm. Berners-Lee hatte neun Jahre zuvor die Software *Enquire* am CERN entwickelt. Und mit diesem Privatinteresse war er, in der Schilderung des Autors gänzlich unwissend, nicht allein gewesen. Das verhalf dem Text zu einer kleinen Dramatik: «It was for these reasons that I first made a small linked information system, not realizing that a term had already been coined for this idea: ‘hypertext’.»²⁴ Gemeinsam mit dem Erzähler erkannten die Leserinnen, dass die konzeptuellen Überlegungen zu den Grenzen der hierarchischen Datenrepräsentation reichlich Gesprächsstoff bereithielten. In der zweiten Hälfte der 80er Jahre lieferte Hypertext auf Computerkonferenzen tatsächlich ein emotionsgeladenes und vehement diskutiertes Thema. Befürworterinnen sahen in dieser Technik eine zukünftige «basis for global scientific literature» oder gar den ersten Schritt in ein Zeitalter, in dem der Computer endlich als Erweiterung des menschlichen Gehirns funktionieren könnte.²⁵

Auf diesen Diskurs nahm Berners-Lee nun Bezug, wenn auch in einer gemässigten Tonlage. Als Schauplätze und Produkte erwähnte er die Hypertextkonferenzen '87 und '88 der *Association for Computing Machinery* und das Apple-Programm *Hypercards*. Berners-Lee betrieb sich ausserdem, ganz im Stil anderer Hypertextadvokatinen, auf den Computerentwickler Theodor Nelson.²⁶ Nelson hatte den Begriff Hypertext bereits 1967 in *Computer Lib/Dream*

²³ Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 5-8.

²⁴ Ebd., S. 8.

²⁵ Jeff Conklin: *Hypertext. An Introduction and Survey*, S. 17 und S. 40.

²⁶ Vgl. Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 10 und S. 14.

Machines geprägt, um damit ein weites restriktionsloses Informationsuniversum zu imaginieren. Dieses Buch schwamm im Computerdiskurs der 1980er Jahre wieder so weit oben auf, dass Microsoft 1987 eine Neuauflage druckte.²⁷

Was geschah mit der imaginativen Vorleistung, die auf den Hypertextkonferenzen, in den theoretischen Debatten und bei der Entwicklung von Computerprogrammen generiert worden war? Vielleicht lagerte sich ein Residuum in den am CERN assoziierten Begriffen ab, als Tim Berners-Lee dort Informationsverlust ausgerechnet mit Hilfe von Hypertext verhindern wollte. Das neue System bezeichnete er als *general* oder gleich *universal*; es sollte *portable*, *flexible* und *extendible* sein. Mit dieser allgemeinen Anpassungsfähigkeit sei die Informationsplattform *future-proof* – gewappnet für die aufregende bis unzuverlässige Zukunft am CERN, die mit einem neuen Teilchenbeschleuniger ein beängstigendes Mass an Transformationskraft bereit hielt. In welchem Zeitraum, unter welchem Aufwand und mit welchen Mitteln diese Features entwickelt werden sollten, erklärte Berners-Lee nicht besonders genau. Beispielsweise erforderte die Portabilität über verschiedene Betriebssysteme, die das neue System überall am CERN einsetzbar machen sollte, in der Praxis einen enormen Programmieraufwand. Später war sie nur durch die Arbeit von zahlreichen Personen umsetzbar, die gar nicht am CERN angestellt waren.²⁸

Zudem gingen nicht alle Kommentatorinnen, etwa auf den Hypertextkonferenzen der ACM ab 1987, von einer Wissens- oder mindestens einer Computerrevolution aus. Zwischen dem Erhofften und den bisherigen Entwicklungsergebnissen bestand eine grosse Differenz, die sich gegen die Euphorie der Hypertextbefürworter scharf machen liess. Gegen den *Hype in Hypertext* polemisierte etwa der ehemalige Apple-Informatiker Jef Raskin. Er versuchte, die Technik weniger von entwicklungstechnischer Seite zu kritisieren, sondern aus der Perspektive der späteren Nutzerinnen. Als grosses ungelöstes Hypertextproblem identifizierte er die Darstellung verlinkter Inhalte, das hiess die Entwicklung eines Frontends inklusive natürlicher Navigationsmethoden. Der Hyperspace klang bei ihm eher wie ein übermässig anspruchsvolles und garstiges Gegenüber als ein intuitionsnaher Informationslieferant: «Hypertext users will spend much of their time pleasing the system instead of themselves.»²⁹

²⁷ Vgl. Theodor Nelson, *Computer Lib/Dream Machines*.

²⁸ Berners-Lee selbst entwickelte innerhalb eines Jahres eine Clientsoftware für das NeXT-Betriebssystem. Ein *line-mode* Browser der CERN-Praktikantin Nicola Pellow lief zwar wenig später auf allen gängigen Plattformen, konnte aber nur eine Textzeile anzeigen – und war damit wohl selbst für frustrationstolerante Wissenschaftlerinnen des CERN zu spartanisch gestaltet. Erst die Browser, die anschliessend etwa an amerikanischen Universitäten entwickelt wurden, fanden breite Verwendung. Siehe Tim Berners-Lee: *Weaving the Web*, S. 29f., und Campbell-Kelly et al., *Computer*, S. 288f.

²⁹ Jef Raskin: *The Hype in Hypertext*, S. 329.

Auch Tim Berners-Lee adressierte die Befürchtung, man könne sich als Userin letzten Endes vor allem «lost in hyperspace» fühlen.³⁰ Er bot zwar keinen Vorschlag, wie man eine ansprechende Darstellungsoberfläche für Hypertextdokumente gestalten könnte. Das war seiner Argumentation zufolge aber gar nicht notwendig. Berners-Lee konnte an dieser Stelle schlicht die generische Usergruppe am CERN charakterisieren. Die Physikerinnen, die das System einmal über einfache Terminals konsultieren würden, bräuchten keine «fancy graphics techniques».³¹ Der Anwendungskontext am CERN löschte also einen neuralgischen Punkt der Hypertextwunschmaschine von der To-Do-Liste. Ganz ähnlich begegnete Berners-Lee einem weiteren Einwand gegen Hypertextanwendungen – unter Aufwendung einer bemerkenswerten Wortschöpfung. Als er in seinem Antrag auf die *CERN Requirements* Fernzugriff, Heterogenität und Datenanalyse zu sprechen kam, war zuletzt von einer «Nicht-Anforderung» die Rede. Damit meinte er: Die Verwendung von Hypertext konfligiere am CERN, im Gegensatz zu anderen Orten, nicht mit Copyright- oder Geheimhaltungsinteressen. Man teile schliesslich das Ethos von offener Wissenschaft und freiem Informationsaustausch.³²

Tim Berners-Lee erzeugte und organisierte in seinem Proposal Erwartungen. Das konnten gleichermassen zu formulierende Versprechen wie zu entkräftigende Befürchtungen sein. Diese Erwartungen musste er kohärent und überzeugend verwalten. Dafür galt es sie mit vorgeprägten Bildern, sowie mit den Maschinen, Programmen und Arbeitsweisen am CERN sinnvoll zu arrangieren. Die Einwände seiner Kolleginnen, die er in den Angelegenheiten Userinterface und Datenschutz so einfach zur Seite wischte, bündelte Berners-Lee an anderer Stelle. Dort hielt er bereits eine konklusive Antwort bereit. Im letzten Abschnitt des Proposals *Accessing Existing Data* hiess es in Fettdruck: «**The system must achieve a critical usefulness early on.**»³³ Der Begriff der *kritischen Nützlichkeit* beschrieb eine ganz pragmatische Befürchtung: Ein Netzwerkdienst wäre nur dann für seine Nutzerinnen attraktiv, wenn das Netzwerk bereits über genügend interessante Verbindungen verfügte. Diese Verbindungen generierten aber erst dieselben Nutzerinnen. Berners-Lee hatte die Lösung des Henne-Ei-Problems praktischerweise schon einige Seiten zuvor entwickelt: «If we provide access to existing databases as though they were in hypertext form, the system will get off the ground quicker.»³⁴ Um den gleichen Funktionsumfang und Informationsgehalt wie etablierte Datenbanken am CERN zu erreichen, wollte Berners-Lee alte, verknüpfungslose Informationen in sein neues System einpflegen, zum Beispiel

³⁰ Tim Berners-Lee: *Information Management*, S. 14.

³¹ Ebd., S. 19.

³² Siehe ebd., *Information Management*, S. 12.

³³ Ebd., S. 17.

³⁴ Ebd., S. 11.

ein Telefonbuch, ein Unix Manual oder eine vorhandene Projektdokumentation. Damit wäre von Beginn an eine kritische Datenmenge im Netzwerk verfügbar.

5 Generalität als Pragmatismus

Ted Nelson träumte von einer *Dream Machine*. Und auch Tim Berners-Lee produzierte unter dem Stichwort Hypertext eine technisch gestaltete Zukunft, die sich von der problembehafteten Gegenwart systematisch abgrenzte. Fragen, die die Umsetzbarkeit, Finanzierbarkeit oder Verhältnismässigkeit des Projekts hätten angreifen können, umschiffte er, indem er die Anknüpfung an Allgemeinbegriffe, an den Mikrokosmos des CERN, an eine Ontologie von Information und Organisation und ein Weltbild vollzog. Das CERN bot dabei einiges an argumentativer Substanz. Generalität und Dezentralisierung waren vor der Folie des CERNs keine abstrakten Leitbegriffe, sondern harte Bedürfnisse. Die wissenschaftliche Arbeit produzierte eben eine riesige Menge heterogener Daten, arbeitete verteilt und auf einer Vielzahl von Betriebssystemen und Servern. Die Beschaffenheit, Arbeitsweise und die Geräte der Institution lieferten ein Problem. Die Vernetzung von Computern war am CERN selbstverständlich – nicht unbedingt, wenn es um die mühsame Standardisierung von Netzwerkprotokollen ging, aber in der Rede-weise von einer oberflächlichen Netzwerkarchitektur. Das Thema Hypertext stellte ein zukunfts-fähiges Vokabular für die Darstellung des neuen Informationssystems bereit. Und die zeitgenössische Kritik an Hypertextprogrammen wirkte viel weniger beängstigend, wenn sie nicht sofort prinzipiell beantwortet werden musste. Berners-Lee konnte sie auf einen späteren Zeitpunkt verschieben (wie die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Browseroberfläche) oder direkt zu einem Nicht-Problem machen (wie das Stichwort Datenschutz).

Pragmatische Gewohnheiten machten einen technischen Universalitätsbegriff vermittel- und technisch realisierbar. Die lokale Einbettung von Berners-Lees Argumentation war entscheidend, um Entscheidungen zu kategorisieren und zu verhandeln. Sie erlaubte die Einteilung von Systemeigenschaften in Prioritäten und Nebensächlichkeiten; sie schuf Kriterien, nach denen man das Projekt in Phasen strukturieren konnte; und sie erlaubte es, allgemein zugängliche Information überhaupt als ein technisch realisierbares Ziel zu formulieren. Umgekehrt stellte der Rekurs auf formale Konzepte, schematische Bilder und zukunfts-fähige Adjektive zu einem gewissen Grad Deutungsoffenheit gegenüber pragmatischen Einwänden her. Man kann zusammenfassen: Der technische Gegenstand eines Informationssystems stabilisierte sich gleicher-massen über pragmatische Motive und lokale Spezifika, über etablierte Schemata und über die Anknüpfung an einen emphatisch geprägten Diskurs.

Was trägt diese Feststellung nun an gängige Erzählungen der Geschichte des WWW heran? Oder, methodologisch gesprochen: Wie soll eine solche Textanalyse überhaupt bei der Aufgabe helfen, technischen Wandel zu erklären? Dazu noch einmal Martin Campbell-Kelly und William Aspray in *Computer*. Dort heisst es: «[The World Wide Web] was not a whirlwind affair; rather, it was five years of peering through the fog as the technologies of hypertext and the Internet diffused and intertwined.»³⁵ Vielleicht liefert ein genauer Blick in den «Gründungstext» des WWW nun Anlass, dessen Entstehung in einem grundsätzlicheren Sinn als voraussetzungsreichen Prozess zu begreifen. Der technische Wandel, der durch den Aufsatz *Information Management* von Tim Berners-Lee angestossen wurde, zeichnete sich nicht durch den Nebel vor den Augen des Erfinders ab, der bloss die Fäden zusammenführen musste. Man kann ihn stattdessen als Diskurs begreifen, der Assoziationen herstellte – nicht bloss zwischen zwei fertig verfügbaren Technologien, sondern zwischen Begriffen, Materialitäten, Bildern und Erwartungen. Dieser Diskurs operierte in *Information Management* mal mit Erklärung, mal mit technischer Unschärfe. Und er war durch Zeitebenen geprägt, aus denen Tim Berners-Lee am CERN Zukunftsversprechen genauso wie Vergangenheitshypothesen ableitete, um daraus ein lösbares Problem zu konstruieren. So liessen sich Argumentations- und Handlungsräume herausarbeiten, die später selbst Anknüpfung boten.³⁶

An diesem Punkt zeichnet meine Textanalyse auch die Grenzen ihrer eigenen Erklärung vor. Die Exklusivität sogenannter «Gründungstexte» und die Strahlkraft einer Ahnengalerie sollte nun verblassen und Platz für andere Stimmen lassen. Mögliche Fragerichtungen aus dieser Leerstelle wären: Wie wurden die lokalen Anforderungen, Funktionen und Leistungen von Computernetzwerken und Datenbanken vor und um 1990 verhandelt? Wie wurde später die Lokalität und Relevanz des WWW rekonzeptioniert? Man könnte sich dafür an anderen Forschungseinrichtungen, Universitäten oder in öffentlichen Onlinediensten auf die Suche begeben. Dieser Ansatz dürfte eine etwas andere Geschichte des WWW vorzeichnen – in denen neue Orte, Figuren, Argumente und Techniken zur Sprache kommen.

³⁵ Martin Campbell-Kelly et al.: *Computer*, S. 287.

³⁶ Die Wechselwirkung von Vergangenheitsbewältigung und Zukunftsproduktion in der Computerentwicklung diskutieren auch David Gugerli und Daniela Zetti: «Ohne Referenz auf Entwürfe haben technische Entwicklungen keine Zukunft, und ohne den Vorgriff auf die Zukunft gibt es keine gegenwärtige Entwicklungsarbeit.» David Gugerli, Daniela Zetti: *Computergeschichte als Irritationsquelle*, S. 195.

Bibliografie

- Berners-Lee, Tim (1990): Information Management: A Proposal, CERN Archive, abrufbar unter: <<https://cds.cern.ch/record/369245/files/dd-89-001.pdf>>.
- Berners-Lee, Tim (1994): The World-Wide Web, in: Communications of the ACM 37 (8), S. 76-82.
- Berners-Lee, Tim (1998): The World Wide Web: A very short personal history, World Wide Web Consortium (W3C), abrufbar unter <<https://www.w3.org/People/Berners-Lee/ShortHistory.html>>.
- Berners-Lee, Tim (1999): Weaving The Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web By Its Inventor, mit Mark Fischetti, Harper: San Francisco CA.
- Campbell-Kelly, Martin et al. (2013): Computer: A History of the Information Machine, 3rd ed., Westview Press: Boulder CO.
- Carpenter, Brian et al. (1987): Two Years of Real Progress in European HEP Networking: A CERN Perspective, CERN Archive, abrufbar unter <<http://cds.cern.ch/record/175508/files/CERN-DD-87-8.pdf?version=1>>.
- CERN (1990), CERN Personnel Statistics 1989, CERN Archive, abrufbar unter <<https://cds.cern.ch/record/1204844/files/CERN-HR-STAFF-STAT-1989.pdf>>
- Conklin, Jeff (1987): Hypertext. An Introduction and Survey, in: IEEE Computer (September), S. 17-41.
- Gugerli, David (2018): Wie die Welt in den Computer kam: Zur Entstehung digitaler Wirklichkeit, S. Fischer: Frankfurt am Main.
- Gugerli, David und Daniela Zetti (2019): Computergeschichte als Irritationsquelle, in: Martina Heßler, Heike Weber (Hrsg.): Provokationen der Technikgeschichte. Zum Reflexionszwang historischer Forschung, Brill Schöningh: Paderborn.
- Krajewski, Markus (2010): Der Diener: Mediengeschichte einer Figur zwischen König und Klient, S. Fischer: Frankfurt am Main.

Nelson, Theodor (1987): Computer Lib/Dream Machines, Tempus Books of Microsoft Press: Redmond WA.

Raskin, Jef (1987): The Hype in Hypertext: A Critique, in: HYPERTEXT '87: Proceedings of the ACM conference on Hypertext, S. 325-330.

Schörner-Sadenius, Thomas: The Large Hadron Collider: Background and History, in: Ders. (Hrsg.): The Large Hadron Collider: Harvest of Run 1, Springer: Cham.

Segal, Ben (1995): A Short History of Internet Protocols at CERN, Ben Segal's Homepage, abrufbar unter <<http://ben.web.cern.ch/ben/TCPHIST.html>>.

Taylor, Thomas und Daniel Treille (2017): The Large Electron Positron Collider (LEP): Probing the Standard Model, in: Christian W. Fabjan et al. (Hrsg.), Technology Meets Research – 60 Years Of Cern Technology: Selected Highlights, World Scientific: New Jersey NJ.

PREPRINTS ZUR KULTURGESCHICHTE DER TECHNIK

BISHER ERSCHIENEN

- 1. BARBARA ORLAND:** Zivilisatorischer Fortschritt oder Kulturdeformation? Die Einstellung des Deutschen Kaiserreiches zur Technik. Paper entstanden nach einer Veranstaltung der Deutschen UNESCO-Kommission und des Hessischen Volkshochschulverbandes zu Jugendstil und Denkmalpflege, Bad Nauheim 1997. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 1.
- 2. PATRICK KUPPER:** Abschied von Wachstum und Fortschritt. Die Umweltbewegung und die zivile Nutzung der Atomenergie in der Schweiz (1960-1975). Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. Hansjörg Siegenthaler, 1997. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 2.
- 3. DANIEL SPEICH:** Papierwelten. Eine historische Vermessung der Kartographie im Kanton Zürich des späten 18. und des 19. Jahrhunderts. Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei PD. Dr. D. Gugerli, 1997. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 3.
- 4. DAVID GUGERLI:** Die Automatisierung des ärztlichen Blicks. (Post)moderne Visualisierungstechniken am menschlichen Körper. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 4.
- 5. MONIKA BURRI:** Das Fahrrad. Wegbereiter oder überrolltes Leitbild? Eine Fussnote zur Technikgeschichte des Automobils Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 5.
- 6. TOBIAS WILDI:** Organisation und Innovation bei BBC Brown Boveri AG 1970-1987. Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. Hansjörg Siegenthaler, 1998. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 6.
- 7. DAVID GUGERLI:** Do accidents have mere accidental impacts on the sociotechnical development? Presentation at the Forum Engelberg, March 1999. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1999 / 7.
- 8. DANIEL SPEICH:** Die Finanzierung ausserordentlicher Arbeiten am Linthwerk. Historischer Bericht im Auftrag der Linthkommission. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1999 / 8.
- 9. ANGELUS EISINGER:** Die Stadt, der Architekt und der Städtebau. Einige Überlegungen zum Einfluss der Architekten und Architektinnen auf die Stadtentwicklung in der Schweiz in den letzten 50 Jahren, BSA Basel 24.06.1999. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1999 / 9.
- 10. REGULA BURRI:** MRI in der Schweiz. Soziotechnische, institutionelle und medizinische Aspekte der Technikdiffusion eines bildgebenden Verfahrens. Studie im Rahmen des Projekts „Digitalizing the human body. Cultural and institutional contexts of computer based image processing in medical practice. The case of MRI in Switzerland“. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2000 / 10.
- 11. DANIEL KAUZ:** Wilde und Pfahlbauer. Facetten einer Analogisierung. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2000 / 11.
- 12. BEAT BÄCHI:** Diskursive und viskursive Modellierungen. Die Kernkraftwerk Kaiseraugst AG und die Ausstellung in ihrem Informationspavillon. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 12.

- 13. DANIELA ZETTI:** Three Mile Island und Kaiseraugst. Die Auswirkungen des Störfalls im US-Kernkraftwerk Harrisburg 1979 auf das geplante KKW Kaiseraugst. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 13.
- 14. PATRICK KUPPER:** From the 1950s syndrome to the 1970s diagnose. Environmental pollution and social perception: How do they relate? Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 14.
- 15. DAVID GUGERLI:** „Nicht überblickbare Möglichkeiten“. Kommunikationstechnischer Wandel als kollektiver Lernprozess 1960-1985. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 15.
- 16. BEAT BÄCHI:** Kommunikationstechnologischer und sozialer Wandel: „Der schweizerische Weg zur digitalen Kommunikation“ (1960 - 1985). Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. David Gugerli, 2002. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2002 / 16.
- 17. DAVID GUGERLI:** The Effective Fiction of Internationality. Analyzing the Emergence of a Euro-pean Railroad System in the 1950s. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2003 / 17.
- 18. CARMEN BAUMELER:** Biotechnologie und Globalisierung: Eine Technikfolgenabschätzung. Li-zentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. Volker Bornschie, 1999. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2003 / 18.
- 19. STEFAN KAUFMANN, DAVID GUGERLI und BARBARA BONHAGE:** EuroNets – EuroChannels – EuroVisions. Towards a History of European Telecommunication in the 20th Century: Thesis on a Research Strategy. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2004 / 19.
- 20. GISELA HÜRLIMANN:** „Die Eisenbahn der Zukunft“. Modernisierung, Automatisierung und Schnellverkehr bei den SBB im Kontext von Krisen und Wandel (1965-2000). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2006 / 20.
- 21. ANDREAS NEF und TOBIAS WILDI:** Informatik an der ETH Zürich 1948-1981. Zwischen Wissenschaft und Dienstleistung. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2007 / 21.
- 22. DANIELA ZETTI:** Personal und Computer. Die Automation des Postcheckdienstes mit Computern. Ein Projekt der Schweizer PTT. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2008 / 22.
- 23. DANIEL SPEICH:** Technokratie und Geschichtlichkeit. Zum postkolonialen Entwicklungsdiskurs von Walt W. Rostow und Simon Kuznets. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2008 / 23.
- 24. PATRICK KUPPER:** Neue Kernkraftwerke für die Schweiz? Welche Erkenntnisse lassen sich aus Verfahren der Vergangenheit gewinnen? Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2009 / 24.
- 25. HANNES MANGOLD:** Zur Kulturgeschichte des Polizeicomputers. Fiktionale Darstellungen der Rechenanlage im Bundeskriminalamt bei Rainald Goetz, F.C. Delius und Uli Edel. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2014 / 25.
- 26. LUCAS FEDERER:** Self-Scanning-Systeme im Schweizer Detailhandel. Implementierungsprozess im Spannungsfeld zwischen spätmoderner Konsumkultur und gesamtgesellschaftlichen Rationalisierungstendenzen. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2014 / 26.
- 27. LUZIUS HAUSAMMANN:** Der Beginn der Informatisierung im Kanton Zürich. Von der Lochkartenstelle im Strassenverkehrsamt zur kantonalen EDV-Stelle (1957-1970). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2014 / 27.

- 28. JOSEF EGGER:** Die Genesis eines alternativen Telekomanbieters im Gleichschritt zur schweizerischen Telekomliberalisierung. Einige Erinnerungen eines Beteiligten zum Aufbau von Sunrise (1994-2000). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2015 / 28.
- 29. NICK SCHWERY:** Die Maschine regieren. Computer und eidgenössische Bundesverwaltung, 1958-1965. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 29.
- 30. DAVID GUGERLI, DANIELA ZETTI:** Digitale Gesellschaft (Rohfassung). Beitrag zum Historischen Lexikon der Schweiz (2018). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 30.
- 31. RACHELE DELUCCHI:** Tastend im Raum. Telegrafie am Gotthard, ca. 1860. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 31.
- 32. NIKI RHYNER:** Kalte und warme Milchflüsse. Über pasteurisierte Milch in Zürich, 1950-1965. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 32.
- 33. DAVID GUGERLI, DANIELA ZETTI:** Computer history – The pitfalls of past futures. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2019 / 33.
- 34. RACHELE DELUCCHI:** Eine Nischenangelegenheit. Zur Geschichte der Stadtrohrpost in der Schweiz (ca. 1920-1927). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2020 / 34.
- 35. Stephan Graf:** Achsenkreuzungen. Bildgeschichte als Technikgeschichte und umgekehrt. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2021 / 35.