

Heiner MÜLLER-MERBACH, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. rer. pol., Jahrgang 1936, ist o. Professor für Betriebswirtschaftslehre, Betriebsinformatik und Operations Research – seit 1983 an der Universität Kaiserslautern, vorher von 1972 bis 1983 an der TH Darmstadt, davor von 1967 bis 1971 an der Universität Mainz; seit 1987 Mitglied und stellvertretender Vorsitzender des Technologiebeirates der Landesregierung von Rheinland-Pfalz; seit über zehn Jahren im Vorstand des Verbandes Deutscher Wirtschaftsingenieure e. V. (VWI); seit 1985 Redaktionsleitung der VWI-Zeitschrift „technologie & management“; Ehrenmitglied im Österreichischen Verband der Wirtschaftsingenieure. Die Arbeitsgebiete von Prof. Müller-Merbach umfassen neben Betriebsinformatik und Operations Research vor allem die technologische Wettbewerbsfähigkeit von Ländern und Unternehmungen, ferner – als zentrales Hobby – den Nutzen philosophischer Lehren für Führung und Selbstführung.

Das Ideal der Ganzheitlichkeit

Plädoyer für eine holistische Ingenieurausbildung und -praxis

Ganzheitlichkeit hat viele Facetten. Aus einigen von ihnen setzt sich das folgende Plädoyer für eine holistische Ingenieurausbildung und -praxis zusammen. Sie beruhen auf alten Prinzipien, die von Philosophen vor langer Zeit ausgesprochen wurden. Die Paten dieses Beitrages sind Pythagoras mit seiner Harmonielehre, Heraklit und Parmenides als Philosophen des Wandels und des Seins, Aristoteles als Begründer der Ganzheitslehre sowie Kant mit seiner Dreiteilung des Handelns.

Peter Schutz, der frühere Vorstandsvorsitzende der Porsche AG, erzählte einmal die Geschichte von drei Steinmetzen, die auf einer Baustelle über ihre Arbeit interviewt wurden. „Ich zerklopfe Steine“, antwortete der erste. „Ich arbeite für meinen Lohn“, sagte der zweite. Der dritte: „Ich helfe, eine große Kathedrale zu bauen.“ Welcher der drei sich am Ganzen orientiert, ist deutlich.

Gestalten aus ganzheitlicher Sicht

Die Aufgabe des Ingenieurs ist Gestalten: Konstruieren von Maschinen, Entwerfen von technischen Systemen, Organisieren von Produktionsabläufen. Immer geht es um das Schaffen funktionsfähiger technischer Ganzheiten, die stets in irgendeiner Weise für Menschen nützlich sind.

Fast jeder Beruf hat Gestaltungskomponenten, aber beim Ingenieur sind sie besonders stark ausgeprägt, stärker als beim Ökonomen, beim Juristen, beim Arzt, beim Sozialwissenschaftler oder beim Naturwissenschaftler und Mathematiker. Diese Gestaltungsorientierung

ist schon bei der Ausbildung von Ingenieuren dominant.

Die Gestaltungsaufgaben zielen zum einen auf umfassende Ganzheiten, zum anderen aber auch auf deren Details. Ingenieure mit ganzheitlichem Denken werden eher an der Gestaltung von Ganzheiten mitwirken, solche ohne ganzheitliches Verständnis dagegen an der Bearbeitung der Details. Erstere konstruieren Autos, letztere Schlußleuchten, erstere Verkehrssysteme, letztere Verkehrsampeln, erstere Kommunikationsanlagen, letztere die Tastaturen.

Je mehr ein Ingenieur mit Gesamtaufgaben betraut ist, desto mehr benötigt er eine ganzheitliche, holistische Denkweise. Ganzheitlichkeit (Holismus) hat viele Facetten. Durch einige von ihnen sei hier der Ingenieurberuf betrachtet:

- **Reale und mathematische Harmonie:** Seit Pythagoras (ca. 580-500 v. Chr.) kennen wir das Postulat der Entsprechung von realer und mathematischer Harmonie. Kepler (1571-1630) hat sich mit seinen drei Planetengesetzen darauf bezogen. Für den Ingenieur (und für sonstige Gestalter) sind damit Maßstäbe gesetzt.

- **Dynamik und Statik:** Heraklit (ca. 544-483 v. Chr.) war der große Philosoph des Wandels, der Bewegung, der Veränderung der Welt, also der Prinzipien der Dynamik. Sein Gegenspieler Parmenides (ca. 540-480 v. Chr.) empfand die sich verändernden Dinge und damit alles Vergängliche einer philosophischen Betrachtung als unangemessen. Vielmehr steht bei ihm das dauerhafte Sein im Vordergrund, also die Existenz der Dinge, das Unveränderbare, das Feste, die Statik des Bestehenden. Ein Ingenieur muß beides sehen: Technische Systeme bestehen sowohl aus dynamischen als auch aus statischen Teilsystemen, die in vielfältiger Weise miteinander verknüpft sind und zusammen eine Leistungseinheit bilden.

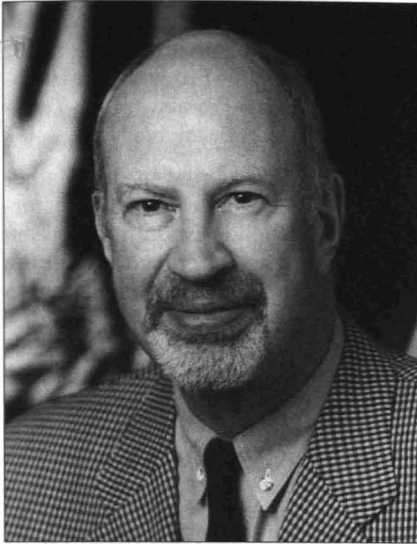
- **Der konstruktive Systemansatz:** Auf Aristoteles (384-322 v. Chr.) geht das Denken in Ganzheiten und deren Teilen zurück, die Basis für die heute als Systemansatz bezeichnete Methodik. Sie spielt eine zentrale Rolle für ingenieurmäßiges Gestalten.

- **Technisches, pragmatisches und moralisches Handeln:** Immanuel



- [18] FORNALLAZ, P.: Die ökologische Wirtschaft. Auf dem Weg zu einer verantworteten Wirtschaftsweise. 3. Aufl., Karlsruhe 1989.
- [19] FRIEDRICH, G., SCHAFF, A. (Hrsg.): Auf Gedeih und Verderb. Mikroelektronik und Gesellschaft. Bericht an den Club of Rome. Reinbek bei Hamburg 1984.
- [20] FUCHS, J.: Das biokybernetische Modell. Unternehmen als Organismen. 2. Aufl., Wiesbaden 1994.
- [21] GATZEMEIER, M. (Hrsg.): Verantwortung in Wissenschaft und Technik. Mannheim, Wien, Zürich 1989.
- [22] GEHLEN, A.: Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt. 12. Aufl., Wiesbaden 1978.
- [23] GEHLEN, A.: Die Seele im technischen Zeitalter. Reinbek bei Hamburg 1976.
- [24] HABERMAS, J.: Technik und Wissenschaft als Ideologie. Frankfurt am Main 1968.
- [25] HASTEDT, H.: Aufklärung und Technik. Grundprobleme einer Ethik der Technik. Frankfurt am Main 1991.
- [26] HEIDEGGER, M.: Die Technik und die Kehre. Pfullingen 1962.
- [27] HEILAND, S.: Naturverständnis. Dimensionen des menschlichen Naturbezugs. Darmstadt 1992.
- [28] HOLLING, E., KEMPIN, P.: Identität, Geist und Maschine. Auf dem Weg zur technologischen Zivilisation. Reinbek bei Hamburg 1989.
- [29] HORKHEIMER, M., ADORNO, Th. W.: Dialektik der Aufklärung. Frankfurt am Main 1992.
- [30] HORKHEIMER, M.: Zur Kritik der instrumentellen Vernunft. Frankfurt am Main 1967.
- [31] HÖSLE, V.: Philosophie der ökologischen Krise. Moskauer Vorträge. München 1991.
- [32] HUISINGA, R.: Technikfolgenbewertung. Bestandsaufnahme, Kritik, Perspektiven. Frankfurt am Main 1985.
- [33] HUNING, A., Mitcham, C. (Hrsg.): Technikphilosophie im Zeitalter der Informationstechnik. Braunschweig, Wiesbaden 1986.
- [34] Jahrbuch Arbeit und Technik. Schwerpunktthema: Zukunftstechnologien und gesellschaftliche Verantwortung. Bonn 1994.
- [35] JONAS, H.: Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Frankfurt am Main 1984.
- [36] LANGENEGGER, D.: Gesamtdeutungen moderner Technik – Moscovi, Ropohl, Ellul, Heidegger: Eine interdiskursive Problemsicht. Würzburg 1990.
- [37] LENK, H., MARING, M. (Hrsg.): Technikverantwortung. Güterabwägung – Risikobewertung – Verhaltenskodizes. Frankfurt am Main, New York 1991.
- [38] LENK, H., MOSER, S. (Hrsg.): Techne, Technik, Technologie. Philosophische Perspektiven. Pullach bei München 1973.
- [39] LENK, H., ROPOHL, G. (Hrsg.): Technik und Ethik. Stuttgart 1987. *
- [40] LENK, H.: Zur Sozialphilosophie der Technik. Frankfurt am Main 1982.
- [41] MAIER, W., ZOGLAUER, Th. (Hrsg.): Technomorphe Organismuskonzepte. Modellübertragungen zwischen Biologie und Technik. Stuttgart-Bad Cannstatt 1994.
- [42] MENNE, A. (Hrsg.): Philosophische Probleme von Arbeit und Technik. Darmstadt 1987.
- [43] MITTELSTRAß, J.: Leonardo-Welt. Über Wissenschaft, Forschung und Verantwortung. Frankfurt am Main 1992.
- [44] MUMFORD, L.: Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht. Frankfurt am Main 1977.
- [45] NACHTIGALL, W.: Phantasie der Schöpfung. Faszinierende Entdeckungen der Biologie und Biotechnik. Hamburg 1974.
- [46] PFIEM, R.: Können Unternehmen von der Natur lernen? Ein Begründungsversuch für Unternehmensethik aus der Sicht des ökologischen Diskurses. In: Ökologische Herausforderungen der Betriebswirtschaftslehre, hrsg. von J. Freimann, Wiesbaden 1990, 19-42.
- [47] RAPP, F. (Hrsg.): Technik und Philosophie. Düsseldorf 1990. *
- [48] RAPP, F., DURBIN, P. T. (Hrsg.): Technikphilosophie in der Diskussion. Braunschweig, Wiesbaden 1982.
- [49] RAPP, F., MAI, M. (Hrsg.): Institutionen der Technikbewertung. Standpunkte aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft. Düsseldorf 1989.
- [50] RAPP, F.: Analytische Technikphilosophie. Freiburg, München 1978.
- [51] ROPOHL, G., SCHUCHARDT, W., WOLF, R.: Schlüsseltexte zur Technikbewertung. Dortmund 1990. *
- [52] ROPOHL, G.: Die unvollkommene Technik. Frankfurt am Main 1985.
- [53] ROPOHL, G.: Technologische Aufklärung. Beiträge zur Technikphilosophie. Frankfurt am Main 1991.
- [54] ROSNAY, J. de: Das Makroskop. Neues Weltverständnis durch Biologie, Ökologie und Kybernetik. Stuttgart 1977.
- [55] SACHSSE, H. (Hrsg.): Technik und Gesellschaft. Bd 3: Ausgewählte und kommentierte Texte. Selbstzeugnisse der Techniker. Philosophie der Technik. München 1976. *
- [56] SACHSSE, H.: Anthropologie der Technik. Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt. Braunschweig 1978.
- [57] SACHSSE, H.: Ökologische Philosophie. Natur – Technik – Gesellschaft. Darmstadt 1984.
- [58] SACHSSE, H.: Technik und Verantwortung. Freiburg, München 1972.
- [59] SCHEFE, P. u.a. (Hrsg.): Informatik und Philosophie. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich 1993.
- [60] SCHUBERT, R.: Zur Möglichkeit von Technikphilosophie. Versuch einer modernen Kritik der Urteilskraft. Wien 1989.
- [61] SCHWEMMER, O. (Hrsg.): Über Natur. Philosophische Beiträge zum Naturverständnis. 2. Aufl., Frankfurt am Main 1991.
- [62] SKOLIMOWSKI, H.: Ökophilosophie. Entwurf für neue Lebensstrategien. Karlsruhe 1988.
- [63] SPAEMANN, R., LÖW, R.: Die Frage Wozu? Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens. 3. Aufl., München, Zürich 1991.
- [64] SPAEMANN, R.: Technische Eingriffe in die Natur als Problem der politischen Ethik. In: Ökologie und Ethik, hrsg. von D. Birnbacher. Stuttgart 1980, S. 180-206.
- [65] STORK, H.: Einführung in die Philosophie der Technik. Darmstadt 1977.
- [66] Technische Universität Dresden (Hrsg.): Philosophie – Informatik – Schlüsseltechnologien. Beiträge zu philosophischen Fragen der Technik und der Technikwissenschaften, Heft 3. Dresden 1990.
- [67] VDI-Technologiezentrum (Hrsg.): Technologiefrühaufklärung. Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien. Stuttgart 1992.
- [68] VESTER, F.: Leitmotiv vernetztes Denken. Für einen besseren Umgang mit der Welt. 2. Aufl., München 1989. *
- [69] VESTER, F.: Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. 7. Aufl., München 1991.
- [70] VESTER, F.: Unsere Welt – ein vernetztes System. 6. Aufl., München 1990.
- [71] WEIZSÄCKER, E. U. von: Erdpolitik. Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. 2. Aufl., Darmstadt 1990. *
- [72] ZIMMERLI, W. Ch. (Hrsg.): Herausforderungen der Gesellschaft durch den technischen Wandel. Informationsgesellschaft und Sprache, Biotechnologie, Technikdiskussion im Systemvergleich. Düsseldorf 1989.
- [73] ZINK, K. J. (Hrsg.): Sozio-technologische Systemgestaltung als Zukunftsaufgabe. München 1984.
- [74] ZWIERLEIN, E. (Hrsg.): Natur als Vorbild. Was können wir von der Natur zur Lösung unserer Probleme lernen? Idstein 1993.
- [75] ZWIERLEIN, E., ISENMANN, R.: Ökologischer Strukturwandel und Kreislaufökonomie. Auf dem Weg zu einer umweltorientierten Materialwirtschaft, Idstein 1994 (im Erscheinen).
- [76] ZWIERLEIN, E.: Die Idee einer philosophischen Anthropologie bei Paul Ludwig Landsberg. Würzburg 1989.





Heiner MÜLLER-MERBACH, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. rer. pol., Jahrgang 1936, ist o. Professor für Betriebswirtschaftslehre, Betriebsinformatik und Operations Research – seit 1983 an der Universität Kaiserslautern, vorher von 1972 bis 1983 an der TH Darmstadt, davor von 1967 bis 1971 an der Universität Mainz; seit 1987 Mitglied und stellvertretender Vorsitzender des Technologiebeirates der Landesregierung von Rheinland-Pfalz; seit über zehn Jahren im Vorstand des Verbandes Deutscher Wirtschaftsingenieure e. V. (VWI); seit 1985 Redaktionsleitung der VWI-Zeitschrift „technologie & management“; Ehrenmitglied im Österreichischen Verband der Wirtschaftsingenieure. Die Arbeitsgebiete von Prof. Müller-Merbach umfassen neben Betriebsinformatik und Operations Research vor allem die technologische Wettbewerbsfähigkeit von Ländern und Unternehmungen, ferner – als zentrales Hobby – den Nutzen philosophischer Lehren für Führung und Selbstführung.

Das Ideal der Ganzheitlichkeit

Plädoyer für eine holistische Ingenieurausbildung und -praxis

Ganzheitlichkeit hat viele Facetten. Aus einigen von ihnen setzt sich das folgende Plädoyer für eine holistische Ingenieurausbildung und -praxis zusammen. Sie beruhen auf alten Prinzipien, die von Philosophen vor langer Zeit ausgesprochen wurden. Die Paten dieses Beitrages sind Pythagoras mit seiner Harmonielehre, Heraklit und Parmenides als Philosophen des Wandels und des Seins, Aristoteles als Begründer der Ganzheitslehre sowie Kant mit seiner Dreiteilung des Handelns.

Peter Schutz, der frühere Vorstandsvorsitzende der Porsche AG, erzählte einmal die Geschichte von drei Steinmetzen, die auf einer Baustelle über ihre Arbeit interviewt wurden. „Ich zerklopfe Steine“, antwortete der erste. „Ich arbeite für meinen Lohn“, sagte der zweite. Der dritte: „Ich helfe, eine große Kathedrale zu bauen.“ Welcher der drei sich am Ganzen orientiert, ist deutlich.

Gestalten aus ganzheitlicher Sicht

Die Aufgabe des Ingenieurs ist Gestalten: Konstruieren von Maschinen, Entwerfen von technischen Systemen, Organisieren von Produktionsabläufen. Immer geht es um das Schaffen funktionsfähiger technischer Ganzheiten, die stets in irgendeiner Weise für Menschen nützlich sind.

Fast jeder Beruf hat Gestaltungskomponenten, aber beim Ingenieur sind sie besonders stark ausgeprägt, stärker als beim Ökonomen, beim Juristen, beim Arzt, beim Sozialwissenschaftler oder beim Naturwissenschaftler und Mathematiker. Diese Gestaltungsorientierung

ist schon bei der Ausbildung von Ingenieuren dominant.

Die Gestaltungsaufgaben zielen zum einen auf umfassende Ganzheiten, zum anderen aber auch auf deren Details. Ingenieure mit ganzheitlichem Denken werden eher an der Gestaltung von Ganzheiten mitwirken, solche ohne ganzheitliches Verständnis dagegen an der Bearbeitung der Details. Erstere konstruieren Autos, letztere Schlußleuchten, erstere Verkehrssysteme, letztere Verkehrsampeln, erstere Kommunikationsanlagen, letztere die Tastaturen.

Je mehr ein Ingenieur mit Gesamtaufgaben betraut ist, desto mehr benötigt er eine ganzheitliche, holistische Denkweise. Ganzheitlichkeit (Holismus) hat viele Facetten. Durch einige von ihnen sei hier der Ingenieurberuf betrachtet:

- **Reale und mathematische Harmonie:** Seit Pythagoras (ca. 580-500 v. Chr.) kennen wir das Postulat der Entsprechung von realer und mathematischer Harmonie. Kepler (1571-1630) hat sich mit seinen drei Planetengesetzen darauf bezogen. Für den Ingenieur (und für sonstige Gestalter) sind damit Maßstäbe gesetzt.

- **Dynamik und Statik:** Heraklit (ca. 544-483 v. Chr.) war der große Philosoph des Wandels, der Bewegung, der Veränderung der Welt, also der Prinzipien der Dynamik. Sein Gegenspieler Parmenides (ca. 540-480 v. Chr.) empfand die sich verändernden Dinge und damit alles Vergängliche einer philosophischen Betrachtung als unangemessen. Vielmehr steht bei ihm das dauerhafte Sein im Vordergrund, also die Existenz der Dinge, das Unveränderbare, das Feste, die Statik des Bestehenden. Ein Ingenieur muß beides sehen: Technische Systeme bestehen sowohl aus dynamischen als auch aus statischen Teilsystemen, die in vielfältiger Weise miteinander verknüpft sind und zusammen eine Leistungseinheit bilden.

- **Der konstruktive Systemansatz:** Auf Aristoteles (384-322 v. Chr.) geht das Denken in Ganzheiten und deren Teilen zurück, die Basis für die heute als Systemansatz bezeichnete Methodik. Sie spielt eine zentrale Rolle für ingenieurmäßiges Gestalten.

- **Technisches, pragmatisches und moralisches Handeln:** Immanuel



Kant (1724-1804) hat zwischen drei Arten des Handelns unterschieden, dem *technischen*: auf Dinge bezogen, dem *pragmatischen*: auf Menschen bezogen und dem *moralischen*: auf *sittliche* Werte bezogen. Sollten nicht auch die Ergebnisse der Gestaltungskunst des Ingenieurs technisch hochwertig, den Menschen dienlich und ethisch vertretbar sein?

Diese einzelnen Facetten der Ganzheitlichkeit ingenieurmäßigen Gestaltens seien nun etwas detaillierter betrachtet.

Reale und mathematische Harmonie

Pythagoras und seine Schüler haben in den realen Erscheinungen nach Harmonie gesucht und die Harmonie mathematisch nachzubilden versucht. Pythagoras hat als erster eine Theorie der Harmonie in der Musik entwickelt: Das Verhältnis von 2:1 repräsentiere eine Oktave, das von 3:2 eine Quinte, das von 4:3 eine Quarte etc. Ein zentraler Grundsatz der Pythagoreer war: Was in der Realität harmonisch wirkt, muß sich auch in mathematischer Harmonie ausdrücken lassen.

Kepler, der Astronom und Physiker, hat daran angeknüpft, auch in der Begriffswahl. Sein Buch von 1619 mit den Planetengesetzen nannte er „*Harmonices mundi*“ (Weltharmonie). Er hat dort die Planetenbahnen in drei mathematischen Gesetzen beschrieben:

- 1) *Geometrie*: Die Planeten umlaufen die Sonne auf Ellipsenbahnen; die Sonne steht in einem der beiden Brennpunkte dieser Ellipsen.
- 2) *Geschwindigkeit*: Die Verbindungslinie zwischen Planet und Sonne („Radiusvektor“ oder „Leitstrahl“) überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
- 3) *Umlaufzeit*: Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten sind proportional zu den Kuben ihrer mittleren Entfernung von der Sonne.

Pythagoras und seine Schüler waren davon überzeugt, daß man die Harmonie der Welt nur dann verstehen könne, wenn man sie in Zahlen (d.h. heute: mathematisch) nachzubilden vermag.

Kant ([2], S. VIII f.) hat die Übereinstimmung von naturwissenschaftlicher Erkenntnis und mathematischer Gesetzmäßigkeit noch einmal hervorgehoben: „*Ich behaupte aber, daß in jeder beson-*

deren Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist.“ Dieser Satz ist häufig zitiert worden, von Mauthner [4] als „*Wanderzitat*“ gebrandmarkt. Mauthner hat insofern Recht, als der Satz häufig mißverstanden und zur beliebigen Rechtfertigung mathematischer Tätigkeiten mißbraucht wurde. Für Kant war jedoch nicht die mathematische Formel als solche entscheidend, sondern das Verständnis des Prinzips, nach dem die Natur funktioniert, und die aus diesem Verständnis abzuleitende Prognostizierbarkeit natürlicher Ereignisse.

Für den Ingenieur folgt eine entscheidende Konsequenz: Er sollte die Prinzipien der Wirkzusammenhänge zwischen allen Teilen seiner Aufgabe verstehen, d.h. er sollte mit der Theorie der Wirkzusammenhänge vertraut sein. Das beginnt beim Fahrzeugingenieur etwa mit den Zusammenhängen zwischen Fahrweg, Geschwindigkeit und Beschleunigung; es umfaßt auch die Differentialgleichungen der Fahrdynamik, mit denen die Federung und die Stoßdämpfung jedes Rades modelliert werden.

Ein so ausgebildeter Ingenieur ist kein bloßer Rezepteanwender, sondern ein Schöpfer von technischen Systemen aus der Vertrautheit mit der naturwissenschaftlichen, mathematisch formulierten Theorie. Beispiele:

- Zahnradgetriebe funktionieren darum so gut, weil die Kinematik des Zahneingriffs mathematisch so gut beherrscht wird.
- Elektrische Schwingkreise mit Spule und Kondensator lassen sich in Differentialgleichungen modellieren, und ihre reale Gestaltung wird daher gut beherrscht. Das gilt auch für vielfältig verästelte Netze elektrischer Schaltungen, wobei die Computertechnik das numerische Durchrechnen auch sehr großer Netze ermöglicht.
- Die Konstruktion von Turbinenschaukeln erfordert Vertrautheit mit der mathematisch anspruchsvollen Theorie der Strömungslehre. Nur wer das Strömungsverhalten der Flüssigkeiten bzw. Gase realitätsnah modellieren kann, wird leistungsfähige Turbinenschaukeln (und die gesamte Turbinenarchitektur) konstruieren können.

In diesem Sinne bestehen die Ingenieurwissenschaften zu einem hohen

Grade aus mathematischer Modellierungskunst. Das gilt insbesondere für die Mathematik für Produkte der Hochtechnologie, häufig als „*High-Tech-Mathematik*“ [7] bezeichnet.

Trotz allen Fortschritts in der Mathematik und in der ingenieur- und naturwissenschaftlichen Erkenntnis lassen sich zahlreiche technische Systeme nicht mit der eigentlich angestrebten Perfektion modellieren. Häufig ist aber auch dann eine hinreichend gute Modellierung möglich, die zumindest eine *Simulation*, d.h. ein Durchspielen des zu konstruierenden technischen Systems gestattet, eine Art „*experimenteller Mathematik*“.

Jede ingenieurmäßige Gestaltung ist gleichzeitig mathematische Modellierung.

Dynamik und Statik

Mit der zweiten Facette ganzheitlichen ingenieurmäßigen Gestaltens sei auf das erste Antipodenpaar der Philosophiegeschichte zurückgegriffen, auf Heraklit als Philosophen des *Wandels* und Parmenides als Philosophen des *Seins*, d.h. auf *Dynamik* und *Statik*. Viele technische Systeme bestehen zum einen aus überwiegend statischen, zum anderen aus überwiegend dynamischen Teilsystemen. Das wird besonders deutlich in Verkehrssystemen:

- *Bahnsysteme* dienen im wesentlichen der Beförderung von Personen und Gütern. Die eigentliche Verkehrsleistung wird durch die Züge als dynamische Teilsysteme erbracht. Sie sind jedoch hochgradig abhängig von den statischen Teilsystemen, d.h. vom Schienennetz, von den Bahnhöfen, von der Energiebereitstellung, vom Signalsystem etc.
- Entsprechendes gilt für den *Flugverkehr*: Die Flugzeuge als dynamische Teilsysteme sind die eigentlichen Träger der Verkehrsleistung, aber sie wären nutzlos ohne die Flughäfen und die Flugsicherung etc. als statische Teilsysteme.

Das gilt analog für Autos und Straßen, für Schiffe und Wasserstraßen. Auch Ver- und Entsorgungsnetze für Strom, Gas, Wasser und Abwasser etc. haben ihre dynamischen und ihre statischen Teilsysteme.

Das Zusammenwirken von Statik und Dynamik ist ein grundlegendes technisches Prinzip, weit über die Verkehrssysteme hinaus: