

HEIDELBERGER
JAHRBÜCHER
ONLINE
Band 7 (2022)

Gesellschaft der Freunde
Universität Heidelberg e.V.



Die vier Elemente

Joachim Funke & Michael Wink (Hrsg.)

HEIDELBERG
UNIVERSITY PUBLISHING

Statistik im Kontext der vier Elemente: Eine Betrachtung aus konzeptioneller und personeller Sicht

CHRISTEL WEISS

Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Dieser Beitrag beleuchtet die Arbeitsweise in der Statistik aus einer ungewöhnlichen Sicht: Wie lassen sich Datenanalysen mit den vier Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft in Einklang bringen? Die Vier-Elemente-Lehre ist ein in der griechischen Antike verwurzelt Modell, mit dem die Beschaffenheit alles materiellen und immateriellen Seins erklärt werden soll. Dagegen ist die Statistik eine moderne, interdisziplinäre Wissenschaft, die versucht mittels der Analyse von aussagekräftigen Daten zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Welche Verbindungen lassen sich zwischen diesen so grundsätzlich verschiedenen Systemen knüpfen? Grundlegend für eine statistische Analyse sind die Daten; sie repräsentieren die Erde. Die Analysemethoden, die alles durchdringen, säubern und klären, sind mit dem Wasser vergleichbar. Die Fragestellung und das Brennen, zu neuen Erkenntnissen zu gelangen, stehen für das Feuer. Die Ergebnisse der Datenanalyse verkörpern die Luft: notwendig zum Leben und für den Fortschritt der Menschheit, manchmal jedoch als heiße Luft oder laues Lüftchen kaum wahrnehmbar. Auch die Personenkreise, die zu einer statistischen Analyse beitragen, lassen sich einem der vier Elemente zuordnen: sie werden repräsentiert durch Datenlieferanten (Erde), Statistiker (Wasser), Vertreter einer angewandten Wissenschaft (Feuer) und Profiteure (Luft). Diese Darstellungen eignen sich, positive und negative Auswirkungen der einzelnen Elemente und auch deren Wechselwirkungen aus der Sicht eines Statistikers zu beleuchten.

1 Einleitung

Feuer, Wasser, Erde, Luft: Nach der klassischen griechischen Lehre setzt sich alles Sein aus diesen vier Elementen zusammen. Diese Lehre besagt, dass alle sichtbaren Gegenstände ebenso wie immaterielle Gedanken und geistige Ideen daraus hervorgegangen sind.

Die vier Elemente sind für das Entstehen und die Erhaltung des Lebens unabdingbar. Feuer erzeugt Wärme, Wasser gilt als das Grundelixier des Lebens, die Erde lässt Nahrung gedeihen, die Luft brauchen Menschen, Tiere und Pflanzen zum Atmen. Wie alle Modelle ist freilich auch dieses Modell zur Beschreibung der Welt unvollständig; es kann nicht jedes Detail erklären. Aber es kann möglicherweise eine vereinfachte Darstellung der Realität wiedergeben, mit denen sich gewisse Phänomene erklären lassen: etwa wie Materie und Geist, die materielle und die immaterielle Welt zusammenwirken, und wie daraus Neues hervorgeht.

Wie lässt sich dieses Ideenkonstrukt auf die Statistik anwenden? Auch wenn diese Assoziation auf den ersten Blick nicht offensichtlich ist, so ergeben sich bei näherer Betrachtungsweise Berührungspunkte. Dies sei am Beispiel der medizinischen Statistik erläutert. Auch diese wissenschaftliche Disziplin arbeitet mit Modellen. Zwar sind die vielfältigen physikalischen und chemischen Vorgänge im gesunden und im kranken Körper eines Menschen im naturwissenschaftlichen Sinne erklärbar; jedoch sind ihre Wechselwirkungen so komplex, dass sie sich einer exakten theoretischen Beschreibung entziehen. Deshalb sind in der klinischen und epidemiologischen Forschung Beobachtungen und Experimente notwendig, um Daten zu generieren und diese zu analysieren. Auch in einer solchen Studie wirken materielle Dinge und immaterielle Werte zusammen. Zu den materiellen Gegenständen zählen etwa Messgeräte, Speichermedien oder Rechner, wohingegen der Forschungsgegenstand, die Ideen und die Wissbegierde der an der Studie beteiligten Wissenschaftler sowie die Rechte der Probanden den immateriellen Gütern zuzuordnen sind.

Wie jedoch lässt sich das Durchführen einer klinischen Studie und die damit verbundene statistische Analyse mit den vier Elementen in Einklang bringen? Ist ein solches aus der Antike überliefertes Ideenkonstrukt für die medizinische Forschung in irgendeiner Weise nützlich, oder ist es gänzlich überflüssig? Diesen Fragen soll in diesem Beitrag nachgegangen werden.

2 Bedeutung der vier Elemente: Historische Betrachtungen

2.1 Die Erklärung der Welt durch griechische Philosophen

Das Konstrukt der vier Elemente ist mittlerweile mehr als 2500 Jahre alt. Um das Jahr 600 v. Chr. begründeten die als Vorsokratiker bezeichneten griechischen Denker eine Naturphilosophie, deren Bestreben es war, die Welt auf einen Urstoff zurückzuführen. Bei Thales von Milet (624/623–548/544 v.Chr.) war das Wasser der Urgrund des Lebens. Für seinen Nachfolger Anaximander (ca. 610–547 v.Chr.) entstanden alle belebten und unbelebten Dinge aus Apeiron, einem unbestimmten, in unendlichem Maße verfügbaren Stoff. Anaximenes (ca. 585–528/524 v.Chr.) hingegen sah die Luft als den Urstoff an, aus dem durch Verdichtung Wasser und Stein und durch Verdünnung Feuer gebildet würden. Heraklit (ca. 520–460 v.Chr.) bezeichnete das Feuer als die Ursubstanz allen Seins.



Abbildung 1: Empedokles – der Gründer der 4-Elemente-Lehre.

Schließlich fasste der Naturphilosoph Empedokles (493–433 v.Chr.; Abb. 1) diese verschiedenen Vorstellungen in einer Lehre von den vier Elementen zusammen, denen er bestimmte Aggregatzustände zuordnete (Tabelle 1). Nach seiner Theorie sind diese Elemente unvergänglich und unveränderlich. Alle Wandlungen, alles Entstehende und Vergehende werden durch Änderungen der Mischungsverhältnisse erklärt.

Seither wurden zahlreiche Versuche unternommen, diese Elemente als die vier Urstoffe zu definieren, aus denen sich durch komplexe Mischungen die ganze physisch-sinnliche Welt zusammensetzt.

2.2 Die vier Elemente zur Beschreibung menschlicher Eigenschaften

Das Vier-Elemente-Prinzip wurde auch auf andere Disziplinen wie beispielsweise auf die Heilkunst übertragen. Der griechische Arzt Galen von Pergamon (Abb. 2), der im 2. Jahrhundert lebte und wirkte, entwickelte auf dieser Basis die Hu-

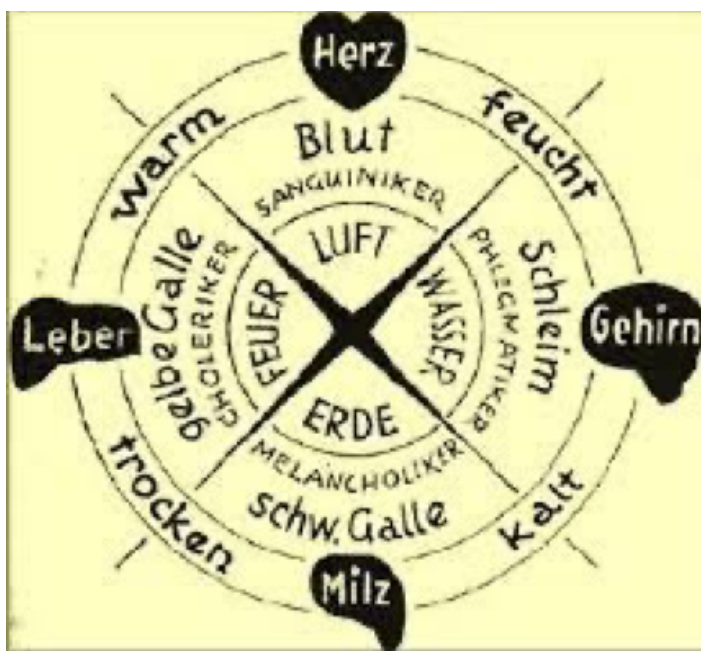


Abbildung 2: Die Humoralpathologie des Galen von Pergamon.

Tabelle 1: Die vier Elemente und ihre Pendants in der Heilslehre

Element	Aggregatzustand	Körpersaft	Organ	Temperament
Erde	kalt, trocken	schwarze Galle	Milz	Melancholiker
Wasser	kalt, feucht	weißer Schleim	Gehirn	Phlegmatiker
Feuer	warm, trocken	gelbe Galle	Leber	Choleriker
Luft	warm, feucht	Blut	Herz	Sanguiniker

moralpathologie, wonach jede Krankheit durch ein Ungleichgewicht der vier Körpersäfte Blut, Schleim, gelbe und schwarze Galle entsteht. Ein von ihm bevorzugtes Heilverfahren war der Aderlass – eine Methode, die in Europa bis weit ins 18. Jahrhundert angewandt wurde. Entsprechend den Qualitäten der einzelnen Elemente ordnete er den Körpersäften bestimmte Eigenschaften zu (Tabelle 1): Das Blut ist warm und feucht (analog zur Luft); es repräsentiert das Herz. Der weiße Schleim ist dagegen kalt und feucht (wie das Wasser) und symbolisiert das Gehirn. Die gelbe Galle ist warm und trocken (entsprechend dem Feuer) und wird in der Leber gebildet, wohingegen die schwarze Galle als kalt und trocken angesehen wird (analog zur Erde) und mit der Milz in Verbindung gebracht wird.

Galen nutzte die vier Elemente außerdem, um menschliche Eigenschaften zu erklären, indem er jedem Körpersaft ein Element und ein bestimmtes Temperament zuordnete. Der Melancholiker repräsentiert das Element „Erde“ und den Körpersaft „schwarze Galle“; er gilt als nachdenklich und verlässlich, aber auch als schwermütig und misstrauisch. Dagegen entspricht der furchtlose und willensstarke, zugleich leicht erregbare und jähzornige Choleriker dem Feuer und der gelben Galle. Der Phlegmatiker wird mit Wasser und Schleim in Verbindung gebracht; er gilt als ruhig und besonnen, aber auch als träge und unentschlossen. Der heitere und lebhafteste, zuweilen auch leichtsinnige Sanguiniker ist mit der Luft als Element und dem Blut als Körpersaft vergleichbar.

Auch die große Mystikerin Hildegard von Bingen (1098–1179), die als bedeutendste natur- und heilkundige Gelehrte des Mittelalters gilt, orientierte sich an der Vier-Elemente-Lehre. Darauf basierend entwickelte sie eine Theorie, um den Menschen, die Gesellschaft und darüber hinaus die gesamte Schöpfung zu erklären. Demnach halten die Elemente einerseits die Welt (den Makrokosmos) zusammen. Andererseits sorgen sie für den Zusammenhalt des menschlichen Körpers (des

Mikrokosmos), indem sie spezifische Aufgaben übernehmen, so dass der Leib in „fester und gleichgestimmter Organisation“ gehalten werden kann [1]. Wasser ist im Blut enthalten, die Luft im Atem, Feuer produziert Körperwärme, Erde bildet den materiellen Körper. Diese Lehre prägte lange Zeit die Auffassung von der belebten Natur ebenso wie die Heilkunst. Analog zu Galen teilte Hildegard die



Abbildung 3: Das Welten-Ei der Hildegard von Bingen: ein Versuch zur Erklärung der Welt.

Tabelle 2: Die vier Elemente und ihre Pendants in der Statistik

Element	Komponente der statistischen Analyse	Personenkreis
Erde	Daten	Studienteilnehmer
Wasser	statistische Methoden	Statistiker
Feuer	zu prüfende Hypothese	Fachwissenschaftler
Luft	Ergebnisse	Gesellschaft

Menschen in vier Temperamente ein, die sie in ihrem Buch „Physica“ ausführlich beschrieb (Abb. 3).

Der Arzt und Naturphilosoph Paracelsus (1493/94–1541) machte sich dieses Prinzip ebenfalls zu eigen. Er wies dem materiellen Leib die Elemente Wasser und Erde zu, während der unsichtbare Geist vom göttlichen Feuer und der Luft („Licht der Natur“) geformt werden würde. Nach diesen Modellvorstellungen ist der Mensch als Gestaltkonfiguration der vier Elemente anzusehen. Mittlerweile gelten all diese Auffassungen als überholt. Mit den Erkenntnissen der modernen Naturwissenschaften lassen sie sich kaum in Einklang zu bringen. Dennoch ist die uralte Menschheitsfrage geblieben: Wie lässt sich die Welt erklären?

3 Die Rolle der vier Elemente bei statistischen Analysen

3.1 Erde – das beständige Element

Während die flüchtigen Elemente Feuer und Luft nicht greifbar sind und Wasser zwar fühlbar, aber kein fester Stoff ist, verkörpert die Erde das Beständige und Stabile. Sie verleiht Halt und Sicherheit. Sie offenbart sich überall und permanent und zeigt sich in vielfältiger Gestalt.

Erde ist ein lebensspendendes Element. Insofern ist sie mit Daten vergleichbar. Forscher sind auf Daten angewiesen; sie stellen die Grundlage jeder statistischen Analyse dar. Zwar sind ihre Ideen, ihre Wissbegierde und ihre fachspezifischen Kenntnisse essenziell, um eine Studie zu planen und durchzuführen. Doch ohne ein solides Datenfundament wären all ihre Bemühungen zum Scheitern verurteilt.

Die Erde bringt Leben in einer schier unvorstellbaren Vielfalt und Fülle hervor. Der Mensch ist diesem Leben jedoch nicht unkontrolliert ausgesetzt: In seiner unmittelbaren Umgebung vermag er Tiere zu zähmen und Pflanzen für sich nutzbar

zu machen. Ähnlich verhält es sich mit Daten: Die Welt quillt über vor Daten und Informationen (nicht zuletzt dank moderner Datenerfassungssysteme und Kommunikationsmedien). Auch in Forschungseinrichtungen und im klinischen Alltag werden mittels technischer Messgeräte, komplexer Überwachungssysteme und leistungsfähiger Speichermedien immense Datenmengen generiert. Diese bergen in ihrer Gesamtheit ein beachtliches Informationspotential in sich. Es bedarf jedoch sorgfältiger Planungen und Auswahlmechanismen (vergleichbar mit Zählungen), um aussagekräftige Daten zu gewinnen, die geeignet sind, eine konkrete wissenschaftliche Fragestellung im Rahmen einer Studie zu bearbeiten.

Galen von Pergamon verglich das Element „Erde“ mit dem Temperament eines Melancholikers (Tabelle 1). Im allgemeinen Sprachgebrauch gilt ein zur Melancholie neigender Mensch als introvertiert oder im Extremfall als fatalistisch, zuweilen auch als misstrauisch und kritisch. An positiven Charaktereigenschaften werden ihm Verlässlichkeit und Gelassenheit attestiert. Diese Attribute lassen sich übertragen auf Studienteilnehmer wie beispielsweise Patienten, die für eine klinische Studie rekrutiert werden – und zwar unabhängig vom tatsächlichen Temperament dieser Personen. Obwohl die Studienteilnahme mit Belastungen einhergeht, vertrauen sie sich Studienärzten an in der Hoffnung, dass ihr Engagement in irgendeiner Weise gewinnbringend sein möge: sei es, dass sie selbst einen gesundheitlichen Nutzen durch eine im Rahmen der Studie angewandte therapeutische, diagnostische oder präventive Maßnahme ziehen (Eigennutzen) oder indem sie dazu beitragen, dass zukünftige Patienten profitieren werden (Fremdnutzen) oder dass die Erkenntnisse der Studie einer speziellen Gruppe, der auch die Studienteilnehmer angehören (z. B. Kinder oder schwangere Frauen), nützlich sein werden (Gruppennutzen). Auch wenn eine positive Kosten-Risiko-Abwägung und die informierte Einwilligung der Probanden zur Teilnahme ethische Voraussetzungen für die Durchführung einer klinischen Studie darstellen, sind studienbedingte Risiken beispielsweise durch potentielle Nebenwirkungen eines Prüfmedikaments oder durch studienbedingte Beeinträchtigungen keineswegs ausgeschlossen [6].

Also ist für die Probanden ein individueller Nutzen durch die Studienteilnahme keineswegs gewährleistet, in vielen Fällen apriori nicht zu erwarten. Wenn etwa ein Patient im Rahmen einer Therapiestudie a priori der Kontrollgruppe zugewiesen wird und mit einer Standardtherapie oder einem Placebo behandelt wird, bringt die Studienteilnahme keine unmittelbaren Vorteile mit sich. Gänzlich ausgeschlossen ist ein individueller Nutzen bei Registerstudien oder retrospektiven

Beobachtungsstudien, bei denen Daten aus Patientenakten entnommen werden. Bei diesen Studientypen ist von vornherein klar, dass deren Nutzen allenfalls durch einen medizinisch-wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn gegeben ist. Die Studienteilnehmer spielen dabei eine passive Rolle; die Verarbeitung ihrer Daten geschieht ohne deren Einwilligung und häufig sogar ohne deren Wissen.

Demzufolge agieren die Studienteilnehmer in aller Regel uneigennützig. Sie dienen dem Wohl der Allgemeinheit und tragen mit ihren Daten indirekt zum medizinisch-wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn bei – ohne dass sie Einfluss auf die Planung oder die Durchführung der Studien ausüben könnten oder irgendeinen persönlichen Nutzen aus deren Ergebnissen ziehen könnten. Insofern bleibt ihnen keine andere Wahl, als sich melancholisch in ihr Schicksal zu fügen und fatalistisch darauf zu vertrauen, dass sie durch die Studienteilnahme keinen Schaden erleiden. Dass sie vorsichtig oder gar misstrauisch agieren und zuweilen beim Prüfpersonal kritisch nachfragen, erscheint in Anbetracht der Ungewissheiten, denen sie sich ausgesetzt fühlen, verständlich. Auch diese Charaktereigenschaften kennzeichnen laut Galen einen Melancholiker.

3.2 Wasser – das alles durchdringende Medium

Der Urstoff Wasser steht für Dynamik und Flexibilität. Wasser durchdringt alles, es kann besänftigen und mitreißen. Dieses Element ist voller Widersprüche. Wasser ermöglicht Leben und Wachstum, es kann andererseits lebensbedrohlich wirken oder gar zerstören. Ein einzelner Wassertropfen wird kaum wahrgenommen; ein Wolkenbruch oder ein Tsunami vermag dagegen ganze Landstriche zu untergraben. Wasser kann seicht rieseln oder heftig niederprasseln, es fließt sanft in Bächen oder stürzt kraftvoll von Bergen herab. Wasser wird zuweilen herbeigesehnt, manchmal gefürchtet. Nach einem schwülen Sommertag wird Regen als wohltuend empfunden; zu viel Regen führt zu Überschwemmungen und wüsten Zerstörungen. Klares Wasser reinigt und erhellt, trübes Wasser ist unsauber und gefährlich. Wasser ist beharrlich. „Gutta cavat lapidem“ („Steter Tropfen höhlt den Stein“): Das liest man bereits in den Epistulae des römischen Dichters Ovid (43 v.Chr.–17 n.Chr.).

Die Dynamik und die Diversität von Wasser beschreibt die Flexibilität der statistischen Methodik, die es ermöglicht, sich aktuellen Fragestellungen und speziellen Datencharakteristika anzupassen (Tabelle 2). Die Analyse eines Datensatzes beginnt in aller Regel mit einfachen Techniken: dem Ermitteln von Häufigkeiten,

dem Schätzen von statistischen Kenngrößen zur Beschreibung von Variablen oder der Berechnung von Assoziationsmaßen sowie dem Erstellen grafischer Darstellungen. Statistische Tests ermöglichen es, Unterschiede zwischen zwei Gruppen oder Zusammenhänge nachzuweisen; mittels einer Regressionsanalyse kann es gelingen, eine Zielgröße in Abhängigkeit von einer oder mehreren Einflussgrößen durch eine mathematische Gleichung zu beschreiben. Diese Methoden sind vergleichbar mit der reinigenden Kraft von klarem, sanft fließendem Wasser, das Unebenheiten glättet, Unklarheiten erhellt und damit zu einem besseren Verständnis von Ursachen und Zusammenhängen führt. Eine statistische Analyse, die eine vorab vermutete Hypothese bestätigt, gleicht einem wohligen Regenschauer.

Hin und wieder entsprechen jedoch die Ergebnisse einer statistischen Analyse nicht dem, was der Fachwissenschaftler erwartet oder erhofft hat: Sei es, dass ein erwarteter Unterschied zwischen zwei Gruppen wegen eines zu geringen Stichprobenumfangs nicht nachweisbar ist oder dass ein Effekt wesentlich schwächer ist als vorab vermutet wurde. Für einen Kliniker, der aus tiefer Überzeugung danach strebt, mittels einer randomisierten Studie einer neuen Therapie zum Durchbruch zu verhelfen, oder für einen Forscher, der eine bislang unbekannte wissenschaftliche These nachzuweisen trachtet, mag dies sehr enttäuschend sein. In solchen Fällen gleicht die statistische Analyse eher einer kalten Dusche als einem wohligen Regenschauer.

Die meisten Forscher wünschen sich ein statistisch signifikantes Testergebnis – nicht zuletzt deshalb, weil dies gute Chancen für eine Publikation bietet. Diverse Gründe können dazu beitragen, dass dieses Ziel verfehlt wird: Eventuell ist die zu überprüfende Hypothese nicht korrekt, das Datenmaterial unzulänglich oder die statistischen Methoden sind nicht adäquat. Nachträgliche Manipulationen der Daten sind jedoch in keinem Fall statthaft. Dazu zählen beispielsweise das Eliminieren unliebsamer Werte oder ganzer Datensätze ohne triftigen Grund (weil sie einem signifikanten Ergebnis im Wege stehen) oder das „Erfinden“ von Daten (um die Fallzahl zu erhöhen). Ebenso ist das Aufbauschen von bedeutungslosen Effekten mittels grafischer Darstellungen oder das Vortäuschen bestimmter Sachverhalte mittels ungeeigneter Kenngrößen zu vermeiden. Ferner kann das Anwenden von Testverfahren, deren Voraussetzungen nicht erfüllt sind, oder der Vergleich von nicht strukturgleichen Gruppen („Äpfel mit Birnen“) zu verzerrten Ergebnissen und zu unzulässigen Schlussfolgerungen verleiten. Diese unsauberen Methoden sind mit trübem Wasser vergleichbar. Möglicherweise kann der Initiator

der Studie davon vordergründig profitieren (etwa durch eine Publikation). Es besteht allerdings die Gefahr, dass diese Machenschaften eines Tages auffliegen und dass alle Beteiligten – wie bei einem Tsunami – in den Abgrund gerissen werden.

Nach der antiken Vier-Elemente-Lehre wird das Wasser dem Temperament des Phlegmatikers zugeordnet (Tabelle 1). Dessen positiven Charakterzüge wie Ruhe und Besonnenheit erscheinen wünschenswert für einen Statistiker, der im Idealfall bereits bei der Studienplanung seinen Einfluss geltend macht. Das Ziel einer effizienten Datenanalyse besteht nicht nur darin, die vorab aufgestellte Hypothese mit einem möglichst kleinen p-Wert abzusichern, sondern vielmehr im Erarbeiten eines statistischen Modells, das die Zielgröße in Abhängigkeit von einer oder mehreren Einflussgrößen basierend auf den vorhandenen Daten in optimaler Weise beschreibt [10]. Das Erstellen eines solchen Modells ist keineswegs trivial. Neben statistischem Know-How, theoretischem Vorwissen und inhaltlichen Überlegungen ist dabei Beharrlichkeit gefragt, um schließlich ein finales Modell zu erhalten, das sowohl den Ansprüchen des Statistikers als auch denen des beteiligten Fachwissenschaftlers genügt.

Möglicherweise wirkt der Statistiker auf seine Mitmenschen hin und wieder träge oder unentschlossen – etwa dann, wenn er sich von der Begeisterung des Fachwissenschaftlers nicht sofort mitreißen lässt, sondern bedächtig und besonnen bei der Datenanalyse agiert. Doch genau diese Eigenschaft ist erforderlich, um eine adäquate und effiziente Datenanalyse mit nachvollziehbaren Ergebnissen zu gewährleisten, wovon letzten Endes alle an einer Studie Beteiligten profitieren werden.

3.3 Feuer – die inspirierende Kraft

Feuer spendet Wärme, Licht und Energie. Deshalb gilt Feuer seit jeher als essenziell wichtig, um die Grundbedürfnisse der Menschen zu befriedigen und um kulturelle Leistungen zu ermöglichen. Gleichzeitig kann von Feuer eine fundamentale Bedrohung ausgehen. Als Beispiele seien Vulkanausbrüche, Blitzeinschläge oder Flächenbrände genannt, die verheerend wirken und Lebensgrundlagen unwiederbringlich zerstören können. In einem übertragenen Sinne kann Feuer als Symbol für Erneuerung angesehen werden. Man denke an das traditionelle Osterfeuer, mit dem in christlichen Kirchen die Auferstehung von den Toten symbolisiert wird, oder an das im Mittelalter gefürchtete Fegefeuer, das gemäß dem damaligen

Volksglauben arme Seelen durchleiden müssen, ehe sie im Himmel Aufnahme finden.

Paracelsus propagierte in seinem Opus Paramirum, dass die im Feuer verborgene Naturkraft unser Lehrmeister sein sollte: „Das Feuer macht sichtbar, was sonst im Dunkel ist. Nach dieser Methode soll die Wissenschaft vorgetragen werden“. Dieser Satz ist heute so aktuell wie zu Paracelsus' Lebzeiten im 16. Jahrhundert. Eine wissenschaftliche Hypothese, die theoretisch gut begründet und mit Fachwissen untermauert ist und schließlich mittels statistischer Analysemethoden bestätigt wird, bringt Licht ins Dunkel (wo vorher Unsicherheit herrschte) und kann sich im günstigsten Fall segensreich auswirken für die Wissenschaft oder für die Mitglieder einer Gesellschaft, die von den neu gewonnenen Erkenntnissen profitieren. Dies trifft beispielsweise zu, wenn der höhere Nutzen einer neu entwickelten Therapie im Vergleich zur bisher verwendeten Standardtherapie nachgewiesen wird oder wenn in einer Risikostudie die Assoziation zwischen einem ätiologischen Faktor und einer bestimmten Krankheit belegt wird. Derlei Erkenntnisse sind vergleichbar mit der wärme-, licht- und energiespendenden Wirkung des Feuers.

Hin und wieder sind jedoch falsche Hypothesen im Umlauf, die sehr viel Schaden anrichten können. So wurde beispielsweise bis in die 1980er Jahre hinein die Empfehlung ausgesprochen, Säuglinge auf den Bauch zu legen. Angeblich sollte diese Lage für einen ruhigeren Schlaf sorgen, die motorische Entwicklung fördern und das Baby davor schützen, Erbrochenes einzuatmen. Diese Hypothese „Bauchlage ist für Säuglinge besser als Rückenlage“, die niemals wissenschaftlich überprüft worden war, hat vermutlich Zehntausenden von Kindern das Leben gekostet. Eine solche Hypothese ist vergleichbar mit der zerstörenden Kraft des Feuers. Erst Ende der 1980er Jahre (nachdem man erkannt hatte, dass die Inzidenz regional sehr unterschiedlich war und in Ländern am höchsten war, in denen die Bauchlage propagiert worden war) setzte ein Umdenken ein: Mittels Fall-Kontroll-Studien konnte klar gezeigt werden, dass die Bauchlage – neben anderen Faktoren – das Risiko des plötzlichen Säuglingstodes erhöhte [5]. Dies führte schließlich zu einem Paradigmenwechsel: Fortan wurde empfohlen, bei Säuglingen die Bauchlage zu vermeiden. Die Anzahl der Todesfälle sank daraufhin rapide um nahezu 70%, vergleichbar mit einem Feuer, das heilsam wirkt und eine Erneuerung mit sich bringt.

Das Pendant zum Feuer auf menschlicher Ebene ist der Choleriker (Tabelle 1). Dessen Eigenschaften passen zum Vertreter der angewandten Wissenschaft,

der zielstrebig für seine Hypothese „brennt“ und diese gerne mittels statistischer Analysen bestätigt sehen möchte. Dies könnte ein Kliniker sein, der davon überzeugt ist, dass er eine neue Therapie entdeckt hat, die den Patienten zum Nutzen gereicht, oder ein Wissenschaftler, der glaubt einer bedeutenden Entdeckung auf der Spur zu sein, auf die die Fachwelt lange gewartet hat. Diese Menschen gelten als „feurig“ im Sinne von leidenschaftlich und temperamentvoll; ihr Antrieb ist Neugierde, Begeisterung und Enthusiasmus. Um ihr Ziel zu erreichen, müssen sie Beharrlichkeit, Innovationsfreude und Willensstärke an den Tag legen. Sie sollten sich von Rückschlägen nicht entmutigen lassen, sondern furchtlos ihren Weg verfolgen. Ihr inneres Feuer und die Sache, für die sie brennen, kann positive Impulse geben und wie ein Lagerfeuer sogar eine sozialisierende Wirkung entfalten, indem es sich auf andere Menschen überträgt und diese ebenfalls zum Glühen bringen.

Zuviel Feuer führt mitunter zu Jähzorn, Ungeduld und gesteigerter Reizbarkeit (typische Eigenschaften, die man einem Choleriker attestiert), wohingegen zu wenig Feuer im Innern eines Menschen mit Antriebslosigkeit und Lethargie assoziiert wird. Auch hier kommt es auf das rechte Maß an. Sehr schön kommt dies in Friedrich Schillers „Lied von der Glocke“ zum Ausdruck: „Wohltätig ist des Feuers Macht, wenn sie der Mensch bezähmt, bewacht“.

3.4 Luft – der flüchtige Stoff

Im Gegensatz zur Erde, zum Wasser und zum Feuer ist Luft weder fühlbar noch greifbar und kaum sichtbar. Luft steht für Veränderungen und Visionen; sie beflügelt die Fantasie und regt das Denken an. Das zeigt sich in Redewendungen wie „frischen Wind bringen“, „ein laues Lüftchen wehen“ oder „Luftschlösser bauen“, die als Umschreibungen gelten für „neue Impulse geben“, „eine Sache kaum spüren“ beziehungsweise „unrealistischen Träumen nachgehen“. Luft kann jedoch auch als tosender Sturm oder als zerstörerischer Tornado wahrgenommen und dabei als gewaltig und sehr unangenehm empfunden werden. Auch der Begriff „heiße Luft“ als Synonym für leeres Gerede ohne tiefere Bedeutung ist abwertend gemeint.

Im Rahmen einer statistischen Analyse ist das Element „Luft“ am ehesten mit den Ergebnissen vergleichbar (Tabelle 2). Wenn das Resultat einer statistischen Analyse den Hoffnungen des Fachwissenschaftlers, der die Studie initiiert hat, entspricht, wird dies in der Regel von allen Beteiligten als erfreulich angesehen. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten dazu führen, dass Dinge neu überdacht

oder Meinungen geändert werden – kurzum: dass frischer Wind in eine Diskussion gebracht wird und Projekte vorangetrieben werden. Häufig werden jedoch Ergebnisse zwar publiziert, aber ansonsten von der Fachwelt kaum wahrgenommen. Dies wäre vergleichbar mit dem „Wehen eines lauen Lüftchens“, das schnell vergeht, ohne erkennbare Spuren zu hinterlassen. Stürme oder Tornados kommen dagegen vergleichsweise selten vor. Mit diesen Erscheinungen assoziiert man umwälzende Erkenntnisse, die alles hinwegfegen können, bestehende Sicherheiten in Frage stellen und grundlegende Veränderungen bewirken. Dies geschieht beispielsweise, wenn Erkenntnisse einer Studie die medizinische Wissenschaft oder die klinische Praxis revolutionieren – was allerdings gemessen an der immensen Vielzahl wissenschaftlicher Publikationen eine große Ausnahme darstellt.

Mit welcher Art von Luft lassen sich die Ergebnisse von Studien vergleichen? Im akademischen Umfeld gibt es viel „heiße Luft“, etwa wenn sensationelle Befunde verkündet werden oder von einem „Durchbruch“ berichtet wird. Diese heiße Luft sorgt zunächst für viel Wirbel, ehe sie nach kurzer Zeit abkühlt und verfliegt. Dagegen führen gut geplante und sorgfältig durchgeführte Studien in der Regel zu interessanten Ergebnissen, die zwar keinen Sturm entfachen, aber die wissenschaftliche Fachwelt aufhorchen lassen, zu Diskussionen führen und damit zum Fortschritt in einer Disziplin beitragen. Als Beispiele seien Therapiestudien erwähnt, in denen Medikamente, Medizinprodukte oder andere Therapiemaßnahmen evaluiert werden. Auch wenn mit solchen Studien die klinische Praxis nicht unbedingt revolutioniert wird, tragen sie dennoch dazu bei, Therapien zu optimieren und verbesserte Ergebnisse bei gewissen Krankheiten oder Patientenpopulationen zu erreichen. Als Beispiele aus der epidemiologischen Forschung seien Risikostudien genannt, mit denen die Assoziation zwischen einer Krankheit und einem ätiologischen Faktor nachgewiesen wird. Auch diese Kenntnisse können mit einem kleinen Fortschritt einhergehen und helfen, die Inzidenz bestimmter Krankheiten oder schwerer Fälle zu verringern. All diese Studien führen möglicherweise dazu, Prozesse zu hinterfragen oder etablierte Therapieschemata zu überdenken und sorgen so für frischen Wind.

Sehr selten wird durch eine Studie ein Sturm oder gar ein Tornado entfacht, der die althergebrachte Ordnung umstößt und Dinge auf lange Sicht grundlegend verändert. Als Beispiel mögen die Arbeiten des französischen Arztes Pierre Charles Alexandre Louis (1787–1872) dienen [9]. Er führte die numerische Methode in die medizinische Forschung ein, indem er Daten von Patienten erhob und analysierte.

So konnte er zeigen, dass bei Patienten mit Lungenentzündung der Aderlass – eine seit Galens Zeiten routinemäßig angewandte Therapie – bestenfalls nutzlos, meist aber schädlich war. Louis numerische Methode und seine Erkenntnis bezüglich des Aderlasses wurden zwar zunächst von vielen seiner Kollegen abgelehnt; sie führten aber letzten Endes zu einem radikalen Umdenken sowohl bezüglich der Methodik in der medizinischen Forschung als auch bezüglich der Vorgehensweise in der klinischen Praxis.

Ein weiteres Beispiel stellen die Untersuchungen des ungarischen Arztes Ignaz Semmelweis (1818–1865) aus der Mitte des 19. Jahrhunderts dar, mit denen er nachwies, dass das damals so sehr gefürchtete Kindbettfieber, das zahlreichen Müttern das Leben kostete, durch mangelnde Hygiene des Klinikpersonals verursacht worden war [7]. Diese Erkenntnis löste unter seinen Kollegen einen Sturm der Entrüstung aus. Auf lange Sicht führte sie jedoch letztendlich dazu, dass allerorten Hygienevorschriften eingeführt wurden, die bewirkten, dass die Zahl der Todesfälle rapide zurückging und die Krankheit ihren Schrecken verlor.

Galen ordnete der Luft den Charakter eines Sanguinikers zu (Tabelle 1). Dieses Wort ist abgeleitet vom lateinischen „sanguinicus“, was mit „vollblütig“ übersetzt werden kann. Sanguiniker gelten als heiter, gesellig und optimistisch; an negativen Charakterzügen wird ihnen Leichtsinns und im Extremfall Skrupellosigkeit attestiert. Diese Eigenschaften lassen sich übertragen auf Personen einer Population, die von den Ergebnissen einer Studie profitieren. Dies könnten beispielsweise Mitglieder einer Gemeinschaft sein, die daran interessiert sind, dass für jede Krankheit geeignete Therapien verfügbar sind, oder auch Wissenschaftler, die neue Erkenntnisse für ihre Zwecke nutzen möchten. Diese Menschen nehmen im Allgemeinen die aus Studien hervorgehenden Erkenntnisse wohlwollend auf, meist optimistisch darauf vertrauend, dass sie eines Tages davon profitieren werden. Zuweilen sind sie dabei etwas töricht, weil sie Dinge falsch einschätzen, oder gar skrupellos, weil sie allzu sehr auf ihren eigenen Vorteil bedacht sind.

3.5 Die vier Elemente und ihre Wechselwirkungen

Die Darstellungen in Tabellen 1 und 2 verdeutlichen: Die vier Elemente und ihre Pendanten in der Heilslehre beziehungsweise im Rahmen von statistischen Analysen sind eng miteinander verbunden. Sie bilden gemeinsam ein Fundament, in dem kein Element unabhängig von den anderen existieren kann. Das Fundament von Galens Humorallehre bilden die vier Körpersäfte, die in einem gesunden Kör-

per harmonisch zusammenwirken. Nach dieser Theorie lassen sich Krankheiten durch ein Ungleichgewicht der Säfte erklären. Analog dazu müssen sich die vier Komponenten einer statistischen Analyse und die an einer Studie beteiligten Personen in sinnvoller Weise ergänzen, damit aus einer Studie nützliche Erkenntnisse hervorgehen.

Beginnen wir mit dem bodenständigsten Element, der Erde. Das Zusammenwirken von Erde und Wasser ist ausgesprochen fruchtbar. Zu wenig Wasser lässt jedoch die Erde austrocknen, während zu viel Wasser einen Sumpf entstehen lässt, in dem nichts mehr Halt findet. Diese Sichtweise lässt sich auf statistische Analysen übertragen: Wenn Daten (als Synonym für die Erde) mit effizienten Methoden (entsprechend dem Wasser) analysiert werden, kann daraus etwas Sinnvolles entstehen. Ineffiziente Analysen (zu wenig Wasser) macht das Datenmaterial unbrauchbar, während zu viele Analysen (vergleichbar einer Wasserflut) zu einer Unmenge von Ergebnissen führt, die kaum noch beherrschbar sind.

Die Erde agiert auch mit Luft, ohne die alles Leben im Erdreich verkümmern würde. Die Pflanzen nutzen das Kohlenstoffdioxid aus der Luft zur Photosynthese und geben Sauerstoff ab, während die Tiere Sauerstoff ein- und Kohlenstoffdioxid ausatmen. Auch Daten (Erde) und Ergebnisse (Luft) bedingen sich gegenseitig: Die aus Daten hervorgehenden Ergebnisse verleiten zu weiterer Forschung. Dazu werden weitere Daten generiert, die wiederum zu neuen Ergebnissen führen. So wiederholen sich die Prozesse: ein immerwährender Kreislauf.

Das Element Feuer braucht Nahrung, um existieren zu können; ansonsten erlischt es. Wie lässt sich dies auf die Statistik übertragen? Zur Überprüfung einer Hypothese sind Daten notwendig, ebenso wie Feuer auf Erde als brennbare Nahrung angewiesen ist. Wasser sorgt dafür, dass Feuer sich nicht unkontrolliert ausbreiten kann – vergleichbar mit Methoden der Datenanalyse, die (sinnvoll eingesetzt) verhindern, dass Hypothesen unkontrolliert oder ungeprüft übernommen werden. Eine präzise formulierte Hypothese und effiziente Analysemethoden stellen Voraussetzungen dar, dass aussagekräftige Ergebnisse hervorgehen und weitergegeben werden. Dies symbolisiert das Zusammenwirken zwischen Feuer und Luft bzw. zwischen Wasser und Luft.

Auch die bei einer Studie involvierten Personen müssen miteinander agieren, um zu einem erfolgreichen Abschluss zu gelangen. Bei einer klinischen Studie braucht es hinreichend viele Patienten, die zur Studienteilnahme bereit sind („fruchtbare Erde“), einen engagierten Kliniker, der bestrebt ist zum Fortschritt in der Medizin

beizutragen („entfachendes Feuer“), einen kompetenten Statistiker, der die Daten mit effizienten Methoden analysiert („erquickendes Wasser“) und eine Gesellschaft (seien es Wissenschaftler oder Personen, die möglicherweise als Patienten von einer neu entwickelten Therapie profitieren werden), die die Ergebnisse dankbar zu schätzen weiß und darüber diskutiert („frischer Wind“).

Ein Projekt ist jedoch a priori zum Scheitern verurteilt, wenn einzelne Personen zur konstruktiven Kooperation nicht bereit sind oder danach trachten, ihre eigenen Interessen auf Kosten anderer durchzusetzen. Dies könnte beispielsweise dadurch geschehen, dass in einer klinischen Studie zu wenig Patienten ihre Einwilligung zur Studienteilnahme erklären („zu wenig Erde“), dass der Statistiker inadäquate Methoden verwendet („trübes Wasser“), dass der Kliniker aufsehenerregende Hypothesen generiert ohne sie zu überprüfen („zerstörende Kraft des Feuers“) oder dass eventuelle Nutznießer der Ergebnisse sich täuschen lassen („heiße Luft“).

Diese Überlegungen zeigen, dass das Interagieren der vier Elemente (gleichgültig, in welchem Kontext sie verwendet werden) unabdingbar ist, damit ein harmonisches Ganzes daraus hervorgeht.

4 Zur Bedeutung der Zahl 4

4.1 Die Bedeutung der Zahl 4 bei Aristoteles

Für Mathematiker ist die 4 eine attraktive Zahl. Sie ist nach der 1 die erste natürliche Zahl, die keine Primzahl ist. Ferner zeichnet sie sich durch die Besonderheit aus, dass sie mittels der Ziffer 2 darstellbar ist als die Summe $2+2$ oder als das Produkt $2 \times 2 = 2^2$. Von den Anhängern des griechischen Philosophen Pythagoras (570–510 v.Chr.) wurde sie deshalb als heilige Zahl verehrt. Heutzutage benutzt man diese Bezeichnung zwar nicht mehr; gleichwohl erscheinen die Eigenschaften der Zahl 4 nach wie vor faszinierend.

Auch bei den griechischen Philosophen spielte die Zahl 4 eine herausragende Rolle. Aristoteles (384–322 v.Chr.), der sich unter anderem als Wissenschaftstheoretiker verdient machte (Abb. 4), stellte zunächst drei Axiome des Logischen Denkens auf und begründete damit die formale Logik. Es handelt sich dabei um den Satz der Identität („Ein Begriff ist nur mit sich identisch und darf sich im Diskurs nicht wandeln“), den Satz vom Widerspruch („Von zwei sich gegenseitig ausschließenden Aussagen muss eine falsch sein“) und den Satz vom ausgeschlos-

senen Dritten („Eine Aussage A ist entweder wahr oder falsch“) [3]. Bereits die Vorsokratiker hatten erkannt, dass es darüber hinaus ein viertes Prinzip geben müsste, nämlich den Satz vom zureichenden Grund („Alles hat eine Ursache“). Dieses vierte Axiom verbindet das abstrakte Denken mit der konkreten Erfahrung. Es suggeriert, dass sich alles wissenschaftlich erklären ließe. Die Naturwissenschaft des 20. Jahrhundert hat zwar zur Erkenntnis geführt hat, dass dieses Dogma keineswegs unumstößlich ist. Dennoch bleibt festzuhalten: Seit nunmehr 2000 Jahren bilden diese vier Axiome die Basis unseres naturwissenschaftlichen Weltbilds und unserer Forschung und führten damit zu zahlreichen neuen Erkenntnissen. Gerade das vierte Axiom wirkte und wirkt immer wieder anspornend, um den Dingen auf den Grund zu gehen. Statistische Analysen können dazu beitragen, indem sie basierend auf einer soliden Datenbasis eine Zielgröße zumindest partiell erklären.

Für Aristoteles hatte die Zahl 4 noch eine weitere Bedeutung: Er unterschied vier Ursachentypen, die allen Dingen und Zuständen sowie deren Veränderungen und Weiterentwicklungen unterliegen: Die „causa materialis“, die „causa formalis“, die „causa movens“ (oder „causa efficiens“) und schließlich die „causa finalis“. Diese Ursachen haben unterschiedliche Funktionen. Die „causa materialis“ bezeichnet das Material und die elementaren Bausteine, aus dem etwas entsteht, während die „causa formalis“ die äußere Form oder die zugrundeliegende Struktur eines Dings darstellt. Die „causa movens“ bezieht sich auf den Anlass, der zu einer Veränderung führt; die „causa finalis“ definiert deren Ziel und Zweck. Die ersten Ursachen (materialis und formalis) stehen demnach für Fragen nach dem „Was“ und „Wie“, während die anderen Ursachen (movens und finalis) sich auf das „Warum“ und „Wozu“ beziehen.

Freilich unterscheidet sich die Ursachenunterscheidung nach Aristoteles von derjenigen der modernen Wissenschaften. Heutzutage fällt es zuweilen schwer, die von Aristoteles genannten Ursachentypen explizit zu benennen, sie zu trennen oder generell den Zweck oder das Ziel einer Veränderung oder Entwicklung anzugeben. Insbesondere Mathematiker und moderne Naturwissenschaftler geben sich oft damit zufrieden, Dinge möglichst objektiv zu beschreiben und zu erklären, wobei sie zwar neue Erkenntnisse gewinnen, aber das Erwägen praktischer Konsequenzen als sekundär erachten.

Anders sieht es bei empirischen Wissenschaften aus. Dieses Konzept der Ursachenunterscheidung lässt sich beispielsweise auf eine statistische Analyse über-

tragen: Die Daten repräsentieren als Grundlage jeder statistischen Analyse die „causa materialis“, die den Daten zugrundeliegende Struktur lässt sich als „causa formalis“ ansehen, die analytischen Methoden stehen für die „causa movens“, das angestrebte Endergebnis (etwa der Nachweis eines Zusammenhangs) lässt sich als „causa finalis“ bezeichnen. Im speziellen Fall einer klinischen Therapiestudie ließe sich die „causa materialis“ auffassen als das gesamte Fachwissen, das bezüglich



Abbildung 4: Der Wissenschaftstheoretiker Aristoteles.

der Thematik publiziert ist, die „causa formalis“ als die der Krankheitsursache und des Krankheitsmechanismus zugrundeliegende Theorie. Die „causa movens“ betrifft die Erkenntnis, dass Bedarf nach einer effizienteren Therapie besteht. Die „causa finalis“ wäre durch die Entwicklung einer neuen Therapieform gegeben, die bezüglich eines bestimmten Aspektes der bisher verwendeten Standardtherapie überlegen ist.

4.2 Vier Elemente in modernen Wissenschaften

Die Lehren der Humoralpathologie als Erklärung von Krankheitsmechanismen gelten spätestens seit der Begründung der Zellularpathologie durch Rudolf Virchow (1821–1902) um die Mitte des 19. Jahrhunderts als überholt. Neuere Erkenntnisse der Psychologie zeigen, dass die Charaktereigenschaften eines Menschen durch vielerlei Faktoren und deren komplexes Interagieren beeinflusst werden und nicht einer von vier Kategorien zuzuordnen sind. Nichtsdestotrotz sind die Versuche des Galen von Pergamon oder der Hildegard von Bingen, das Universum und den Menschen als Makro- bzw. Mikrokosmos anhand von vier Elementen zu beschreiben, zu strukturieren und in all seinen Erscheinungsformen und Funktionen zu erklären, anerkanntenswert.

Auch heute kommt der Zahl 4 in empirischen Wissenschaften wie beispielsweise der Medizin eine zentrale Bedeutung zu. Der Hauptteil wissenschaftlicher Arbeiten besteht in der Regel aus vier Teilen: Einleitung, Material und Methoden, Ergebnisse, Diskussion. Mit etwas Phantasie kann man diesen Komponenten eines der Elemente zuordnen (Tabelle 3): Das Material entspricht der Erde, die Methoden dem Wasser, die Ergebnisse und die Diskussion der Luft. Die dem Paper zugrunde liegende Fragestellung (die üblicherweise in der Einleitung dargelegt wird) symbolisiert das Feuer als antreibende Kraft.

Der Verlauf einer klinischen oder epidemiologischen Studie lässt sich grob in vier Phasen untergliedern [2]: In der Erkundungsphase wird das Forschungsvorhaben konkretisiert und in ein theoretisches Konzept eingebettet; außerdem wird die aktuelle Literatur gesichtet. In der theoretischen Phase wird dieser Ansatz überprüft: Ist die Theorie logisch konsistent und mit dem bislang bekannten Fachwissen konsistent? Dieser Abschnitt ist am ehesten mit dem Element „Erde“ vergleichbar (Tabelle 3). Sodann wird eine konkrete Hypothese formuliert („Feuer“), die empirisch überprüfbar ist. In der statistischen Phase wird die Studie geplant, außerdem werden Daten erhoben und analysiert („Wasser“). Schließlich

Tabelle 3: Die vier Elemente und ihre Pendants in der Statistik

Element	Komponenten einer Studie	Arzneimittelstudie	Inhalt eines Papers	PDCA-Zyklus
Erde	Theorie	Phase I	Material	Check
Feuer	Hypothese	Phase II	Fragestellung	Plan
Wasser	Statistik	Phase III	Methoden	Do
Luft	Entscheidung	Phase IV	Ergebnisse, Diskussion	Act

wird in der Entscheidungsphase geprüft, ob und mit welchen Einschränkungen die Hypothese verifiziert werden konnte und welche praktischen Konsequenzen aus dem Ergebnis der statistischen Analyse zu ziehen sind („Luft“).

Das 4-Phasen-Konzept gilt auch für Arzneimittelstudien [4]: In Phase I wird das Arzneimittel an gesunden Probanden getestet, um Informationen bezüglich Pharmakodynamik („Was macht der Arzneistoff mit dem Körper?“) und Pharmakokinetik („Was macht der Körper mit dem Arzneistoff?“) zu gewinnen. Diese Phase, in der grundlegende Informationen bezüglich der Wirksamkeit des Medikaments gewonnen werden, entspricht dem Element „Erde“ (Tabelle 3). In Phase II wird das Arzneimittel erstmals erkrankten Patienten verabreicht. Ziel dieser Phase ist es, das Therapiekonzept zu überprüfen und eine optimale Therapiedosis zu finden. In dieser Phase geht es um Antworten auf die alles entscheidende Frage „Wirkt das Medikament bei Patienten?“. Deshalb ist diese Phase mit dem Feuer vergleichbar. In Phase III wird das Arzneimittel mit einer Kontrollgruppe (z. B. Placebo oder einer bisher verwendeten Standardtherapie) verglichen, um dessen Überlegenheit nachzuweisen. Diese methodische Phase, in der das Medikament weiteren Prüfungen unterzogen wird, findet im Wasser sein Analogon. Wenn die Phasen I bis III erfolgreich abgeschlossen sind, kann die Zulassung beantragt werden. Danach beginnt die Phase IV, die der Erfassung seltener Nebenwirkungen und der Abgrenzung der Indikation dient. In Phase IV erreicht das Medikament einen breiten Anwenderkreis – vergleichbar mit der Luft.

In der Qualitätssicherung hat sich seit einiger Zeit der PDCA-Zyklus (Abb. 5) etabliert. PDCA steht für „Plan – Do – Check – Act“. Diese vier Komponenten wurden im Jahr 1938 von dem Physiker und Statistiker William Deming

(1900–1993) formuliert. In der Plan-Phase werden die Fragestellungen formuliert („Feuer“): Was soll verbessert werden? Welches Ziel soll erreicht werden? In der folgenden Do-Phase werden Ressourcen geklärt, ein Zeitplan erstellt, Maßnahmen vereinbart und umgesetzt („Wasser“). Nach deren Abschluss werden in der die Ergebnisse evaluiert (Check) und Folgemaßnahmen abgeleitet (Act), ehe der Zyklus von Neuem beginnt (Tabelle 3). Der PDCA-Zyklus ist flexibel, er verhindert zielloses Agieren und ermöglicht so eine kontinuierliche Verbesserung. Deshalb hat sich dieses Modell der Qualitätssicherung in diversen Industrieunternehmen oder im Dienstleistungssektor etabliert. Mittlerweile wird es auch in Kliniken als praxis-orientiertes Risikomanagement-System benutzt [8].

4.3 Schlussfolgerungen

Der Mensch hatte immer das Bedürfnis, die Welt zu erklären. Dafür waren die vier Elemente lange Zeit ein hilfreiches Konstrukt. Sie avancierten zum Ordnungsschema des abendländischen Denkens und prägten die Wissenschaftsgeschichte über zwei Jahrtausende. Mit der Entstehung der modernen Naturwissenschaften wurde die Vier-Elemente-Lehre als wissenschaftliche Theorie entwertet. Die ursprüngliche Bedeutung des Begriffs „Element“ hat sich spätestens mit der Einführung



Abbildung 5: Schema des PDCA-Zyklus.

des Periodensystems durch Lothar Meyer (1830–1895) und Dimitri Mendelejew (1834–1907) grundlegend geändert. Die Vorstellung von den vier Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft als Grundsubstanzen musste dem Periodensystem mit mehr als 100 chemischen Elementen, die mit Ordnungszahlen versehen wurden, weichen. Fortan galten die im Periodensystem abgebildeten Atome als die Bausteine der Welt. Dieses moderne naturwissenschaftliche Modell erlaubt eine wesentlich präzisere Beschreibung und Erklärung der materiellen Welt und deren Veränderungen als die geheimnisvolle Vier-Elemente-Lehre der griechischen Antike.

Andererseits spielen in einem übertragenen Sinne die vier Elemente in den modernen Wissenschaften auch heute noch eine wichtige Rolle, wenngleich sie andere Namen tragen. Die Ausführungen in den obigen Abschnitten verdeutlichen: Die Einteilung eines Projekts in vier Phasen, die Einteilung eines Systems in vier Komponenten oder die Einteilung von Personen in vier Subgruppen eignet sich, um ein zunächst unübersichtliches Gebilde zu strukturieren, Ordnung zu schaffen und Zusammenhänge zu erklären. Gleichzeitig hilft diese Vorgehensweise, ein System als ein Gesamtbild zu begreifen, in dem mehrere Elemente zusammenwirken. Ferner veranschaulicht sie, dass die Resultate einer Studie oder eines Projekts nicht für alle Zeiten Gültigkeit haben, sondern einem ständigen Wandel unterliegen.

Diese Beispiele zeigen: Eine Konstruktion mit vier Elementen – wie auch immer sie bezeichnet werden – vermag es, ein vollständiges und in sich geschlossenes System zu formieren. Insofern sind die vier Elemente – wenn auch mit adaptierten Bezeichnungen – ewig existent, und die Axiome von Archimedes so aktuell wie vor 2000 Jahren.

Referenzen

- [1] Beuys B: Das Leben der Hildegard von Bingen. S 244 ff., Carl Hanser Verlag München Wien, 2001
- [2] Bortz J, Schuster C: Empirische Forschung und Statistik. Springer-Verlag Heidelberg, 7. Auflage 2010
- [3] Fischer EP: Aristoteles, Einstein & Co. Eine kleine Geschichte der Wissenschaft in Portraits. Piper Verlag München Zürich, 2005

- [4] Gierschick P: Die Phaseneinteilung klinischer Studien. In: Lenk C, Duttge G, Fangerau H (Hrsg.): Handbuch Ethik und Recht der Forschung am Menschen. Springer Verlag Heidelberg, 2014
- [5] Jorch G, Findeisen M, Brinkmann B, Trowitzsch E, Weihrauch B: Bauchlage und plötzlicher Säuglingstod. Eine Zwischenbilanz in Thesen. Dt. Ärztebl. 88, 48: A-4266, 20XX
- [6] Kielmannsegg S Graf von: Nutzen, Art des Nutzens. In: Lenk C, Duttge G, Fangerau H: Handbuch Ethik und Recht der Forschung am Menschen. Springer Verlag Heidelberg, 2014
- [7] Nuland SB: Ignaz Semmelweis. Arzt und großer Entdecker. Piper Verlag München 2008
- [8] Warnecke D: Risikokultur schaffen. Die Einführung eines Risikomanagements im Klinikalltag – wie es wirklich funktioniert und so zum ökonomischen Erfolg führt. Deutsches Ärzteblatt 24, 2006
- [9] Weiß C: Entwicklung der Medizinischen Statistik in Deutschland. Der lange Weg dahin. GMDS Med Inform Biom Epidemiol, 2005
- [10] Weiß C: Regressionsanalysen. In: Basiswissen Medizinische Statistik, Springer-Verlag, 7. Auflage 2019

Über die Autorin

Christel Weiß ist Professorin für Biomathematik und Epidemiologie an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg. In ihren Verantwortungsbereich fallen Lehrveranstaltungen für Studierende der Medizin und Masterkurs-Absolventen, Seminare sowie die Beratung von Ärzten, wissenschaftlichen Mitarbeitern und Doktoranden bei der Planung und Durchführung von klinischen und epidemiologischen Studien. Frau Weiß ist Autorin des Lehrbuchs „Basiswissen Medizinische Statistik“ (erschienen im Springer-Verlag, 7. Auflage), des Ratgebers „Promotion. Die medizinische Doktorarbeit – von der Themensuche bis zur Dissertation“ (zusammen mit Prof. Dr. Axel Bauer, erschienen im Thieme-Verlag, 4. Auflage) sowie Koautorin zahlreicher Papers und Buchbeiträge.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Christel Weiß
Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg
Abteilung für Medizinische Statistik und Biomathematik
Theodor-Kutzer-Ufer 1
68167 Mannheim

E-Mail: christel.weiss@medma.uni-heidelberg.de

Homepage: <https://www.umm.uni-heidelberg.de/inst/biom/>