

Erde, Wasser, Feuer, Luft:

Die Vier-Elemente-Lehre

von den Ursprüngen bis zur Gegenwart

Karl-Peter Dostal

Inhaltsangabe

- 1. Der Elementbegriff in den frühen Kulturen**
- 2. Die Elemente bei den frühen Vorsokratikern**
- 3. Die Elementelehre des Empedokles**
- 4. Einige Bemerkungen zum Äther**
- 5. Die Elementelehre bei Platon**
- 6. Die Elementelehre von Aristoteles**
- 7. Die Elementelehre nach Aristoteles: Bemerkungen zur Alchimie**
- 8. Ergänzungen**
- 9. Die Aufweichung des antiken Elementbegriffs in der Neuzeit**
- 10. Das Periodensystem von seiner Vorgeschichte bis zum Verständnis**
- 11. Die letzten 100 Jahre**
- 12. Ist es heute noch sinnvoll, sich mit den vier Elementen zu befassen?**

1. Der Elementbegriff in den frühen Kulturen

Zarathustra (etwa 1200 v. u. Z.)

Ahura Mazda schuf Vielfalt geistiger Wesenheiten, Yazatas. Darunter: Gottheiten der Erde, des Wassers, des Feuers, des Windes.

Heutige Zoroastrier:

Wir schützen die Natur, wir respektieren die vier Elemente Wind, Feuer, Erde und Wasser. In unseren Ritualen spielen sie eine wichtige Rolle.

China, 10. Jh. v. u. Z. Zou Yan (Dschou Jän): 5 Elemente Elementargeister von Erde, Feuer, Wasser, Holz und Metall

China, 4. Jh. v. u. Z.: Yin-Yang-Theorie

Yang: hell, hart, heiß, männlich, positiv, aktiv, bewegt;

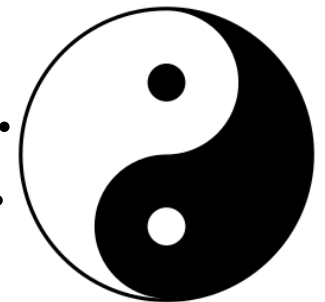
Yin: dunkel, weich, feucht, kalt, weiblich, negativ, passiv, ruhig.

Beide wirken zusammen, haben die 5 Elemente hervorgebracht.

Überwiegend yin-haltig: H₂O, Hg, Sn;

überwiegend yang-haltig: Feuer, Holz, Pb, S, HgS;

unveränderliches ideales Gleichgewicht zwischen beiden Prinzipien: Au.



Der Elementbegriff in den frühen Kulturen, Forts.

Hinduismus

- Rigveda (ca. 13. Jh. v. u. Z.): Feuergott Agni sollte die Opfergaben den Göttern übermitteln, um sie geneigt zu stimmen, damit der Mensch *von der Sterblichkeit in die weit entlegene Unsterblichkeit* aufsteigen kann.
- Chandogya-Upanishad (etwa 700 v. u. Z.)
Akasha: Träger des Lebens, vgl. mit der göttlichen Urenergie Brahma.
- Brihaspati Sutra (7. Jh. v. u. Z.)
Erde, Wasser, Feuer, Luft, Akasha (= „Äther“: deren feinstofflichstes).

Buddhismus (ca. 400 v. u. Z. ?)

Erde, Wasser, Feuer, Luft, Raum.

Sterbeprozess: Erde → Wasser → Feuer → Luft → Bewusstsein.

Ägyptische Mythologie

Aus der Sonne gingen anfangs vier Götter hervor, die gleichzeitig weltenbauende Elemente waren: Luft, Licht, Erde und Himmel.

2. Die Elemente bei den frühen Vorsokratikern

- 1 **Thales von Milet** (wohl um 624 - um 546 v. u. Z.): **Wasser**
- 2 **Anaximandros aus Milet** (um 610 - nach 547) **Apeiron**
- 3 **Anaximenes aus Milet** (um 585 - um 526) **Luft**
- 4 **Pythagoras von Samos** (um 570 - nach 510) **Zahlen**
- 5 **Xenophanes aus Kolophon** (um 575 - frühes 5. Jh.)
- 6 **Heraklit aus Ephesos** (um 520 - um 460) „Feuer“ = **Ur-Energie**
- 7 **Parmenides aus Elea** (um 520/515 - um 460/455)
- 8 **Zenon aus Elea** (um 490 - um 430)
- 9 **Empedokles aus Agrigent (um 495 - um 435) Erde, Wasser, Feuer, Luft**
- 10 **Anaxagoras aus Klazomenai (um 499 - 428)**
unendlich viele verschiedenartige unveränderliche, unendlich kleine
Samen der Dinge, von Aristoteles *Homoioimerien* genannt.
- 11 **Leukipp (aus Milet?, 5. Jh.) u. Demokrit aus Abdera (um 460 - um 370)**
Vielerlei unsichtbare endlich kleine Atome,
die sich im leeren Raum bewegen.

3. Empedokles (um 495 - um 435)

- griech. Philosoph, Naturforscher, Politiker, Redner, Dichter, Arzt

Vier-Elemente-Lehre in Europa (Erde, Wasser, Feuer und Luft)

- Jedes der vier Elemente, *rhizai* (Wurzeln) oder *stocheia*, besteht aus unveränderlichen sehr kleinen (nicht wahrnehmbaren) Partikeln.
- Sonne u. Sterne: örtliche Zusammenballungen des Feuerstoffs.
- Luft ist eine Substanz, vom Wasserdampf unterschieden.
- Die Vielfalt der Dinge und Vorgänge entsteht durch Mischung und Entmischung dieser Partikel, bewirkt durch zwei antagonistische bewegende Kräfte: *philia*, Liebe, u. *neikos*, Streit (Hass).
- Verbindung der Lehren von Parmenides und Heraklit.
- **Damit unterschied Empedokles als erster zwischen Kraft und Stoff und differenzierte in d. Erhaltung der Materie u. d. Erhaltung der Energie.**

Porenlehre: Die Dinge enthalten für ihren Zusammenhalt wichtige Poren, die aber nicht völlig leer sind, sondern mit feinsten Substanz gefüllt: Äther. (Aus ihm gingen Himmel und Sonne hervor.)

4. Einige Bemerkungen zum Äther

Homer (wohl 8. Jh. v.u. Z.): Offensichtlich damals verbreitete Auffassung:
Zwischenraum zw. der runden flachen Erde und der Himmelshalbkugel:
Unterer Teil: ἀήρ, aër, Luft/Dunst,
oberer Teil: αἰθήρ, Äther, die leuchtende obere Luftschicht.

Shmuel Sambursky (1900-1990): *Der Äther wurde sozusagen erfunden, um die Nichtexistenz des Vakuums zu sichern.* [Anders Demokrit.]

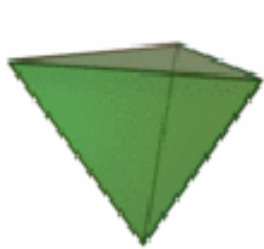
G. und H. Böhme: *Die Geschichte der quinta essentia* [des Äthers]
[ist] ...*mindestens ebenso bunt wie die Geschichte der Vier-Elemente-Lehre*:
Äußerste, ewige Sphäre des Kosmos, Licht, Lichtträger, Seelensubstanz,
das Wesentliche jeder einzelnen Substanz, das Weltall im Ganzen u. a. m.

(Früh-)Neuzeitliche Physik (ab ca. 1600): Äther noch
bei Descartes, Huygens, Newton, Maxwell, H. A. Lorentz (gest. 1928).

Einstein 1905: Licht braucht zur Fortpflanzung keinen Träger:
Der Äther wurde damit - im bisherigen Sinn (!) - in der Physik entbehrlich.

5. Die Elementelehre bei Platon (427 - 347 v. u. Z.)

- Sie ist nur eine Theorie von der sinnlich und körperlich erfahrbaren Welt.
- Ur-Materie (*χώρα chóra*): amorphes Rohmaterial, feldartig.
- Aus ihm gestaltete der Demiurg die 4 Elemente.
- Verbindg. mit den konvexen regulären Polyedern (platonischen Körpern):

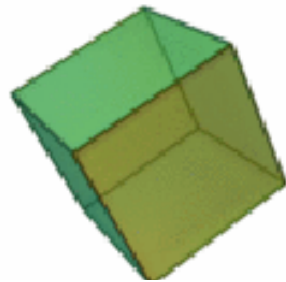


Tetraeder

4 \triangle

Feuer

24 A

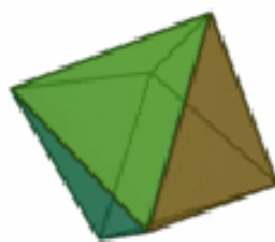


Hexaeder

6 \square

Erde

24 B



Oktaeder

8 \triangle

Luft

48 A

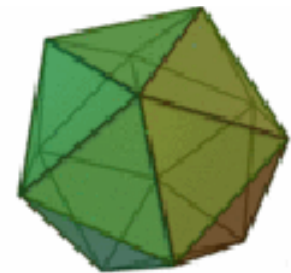


Dodekaeder

12 \square

ganzes Weltall

(Äther?)

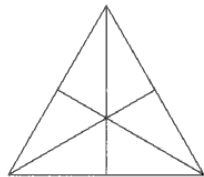


Ikosaeder

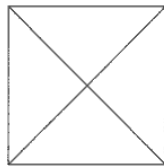
20 \triangle

Wasser

120 A



6A



4B

Anders als Empedokles:

Feuer, Wasser, Luft ineinander (erstmalig) überführbar durch Trennen und Vereinigen der Dreiecke:

Beispiele: $1L = 2F$, $W = 1F + 2L$. „Mathemat. Atomismus“

6. Die Elementelehre von Aristoteles (384 - 322 v. u. Z.)

- Die kugelförmige Erde ist das Zentrum der Welt.
- Weil die Kreisbewegungen der Sterne und Planeten unaufhörlich, aber die Bewegungen auf der Erde zum Stillstand kommen:
- **Fundamentaler Unterschied: Himmelsbewegung - sublunare Bewegung:**
noch bis z. Zt. Newtons.
- **Zum Wesen der irdischen Körper gehört ihre Tendenz zur Bewegung und ihre Tendenz hin auf ihr Fertigsein (*teleiosis*).**
- Nur Lebewesen bewegen sich aus eigenem Antrieb, alles andere wird entweder von etwas bewegt oder es strebt möglichst geradlinig seinem *natürlichen Ort* entgegen und kommt dort zum Stillstand.

Die natürlichen Orte der Elemente:

- Feuer: an der Peripherie, strebt also nach oben,
- Luft: unterhalb des Feuers,
- Wasser: über der Erde,
- Erdelement: unten.*) Schwere Körper fallen schneller als leichte.

* Folgerung: Fremde Welten sind unmöglich (anders als manche Vorsokratiker).

Die Elementelehre von Aristoteles, Fortsetzung

Zur Chemie der Elemente

Das Wahrnehmbare soll durch wahrnehmbare Prinzipien bestimmt sein.
=> Konstitutiv für die Elemente sind die *Ursachen* (anders als bei Platon)
Leicht/Schwer, Warm/Kalt, Feucht/Trocken.

	Feuer (Wärme)	
	warm	trocken
Luft (Flüssigkeit)		Erde (Festigkeit)
	nass	kalt
	Wasser (Kälte)	

- Jeweils überwiegt eine der beiden Qualitäten: in Klammern.
- Umwandlungen sind (wie bei Platon) möglich:
 - Erde: Flüssigwerden → Wasser: Warmwerden → Luft,
 - Luft: Trockenwerden → Feuer: Kaltwerden → Erde.
- Damit zeigen sie Aspekte der Aggregatzustände (u. U. Identifikation).
- Unterschied (Komplizierung, auch später):
 - Status als Prinzipien - konkrete Substanzen (sind Gemische aus allen 4).

7. Die Elementelehre nach Aristoteles: Bemerkungen zur Alchimie

Alexandrinische Alchimisten

- Ab ca. 300 v. u. Z.: Wissen als Geheimwissen: verschlüsselte Fachsprache.
- Erste Jh. u. Z.: Transmutation v. Metallen (nach der 4-Elemente-Lehre möglich):
Suche nach einem (trockenen, ξηρός) Pulver *Xerion* → *al-iksir* → *Elixier*.

Abendländische Alchimisten:

- Vier-Elemente-Lehre weniger explizit, sondern vor allem als allgemeine theoretische Grundlage: **Alles lässt sich in alles umwandeln.**
- *Stein der Weisen* (mehr als 600 weitere Namen!),
sollte auch Krankheiten heilen und Leben verlängern.
- Ab dem 12. Jh. orientalische Konzepte durch Vermittlung über Spanien:

Schwefel-Quecksilber-Theorie ((Pseudo-)Balinas von Tyana, 8. Jh.):

Luft + Erde → Schwefel, Wasser + Erde → Quecksilber,
Schwefel + Quecksilber + Feuer → Metall - **bei optimalen Bedinggn.: Gold.**

NB: Gold aus Kerntechnik: a) Neutroneneinfang in ^{196}Pt (β^-) oder ^{196}Hg (ϵ);
b) Schwerionen-Kollision: GSI: $2 \cdot 10^6$ Au-Kerne/s = 1 g in 50 Mill. Jahren.

Drei-Elemente-Lehre (11. oder 12. Jh.)

Körper (Sal), Seele (Sulfur) und Geist (Mercurius)

(Sie enthalten die vier Elemente.)

Paracelsus (1493 - 1541), Reformator der Medizin, insbes. Iatrochemie:

Alchimie als Grundlage zur Herstellung möglichst reiner Heilmittel.

- *Prima materia* → 4 Elemente ... → Lebewesen → ... *ultima materia*.

- *Ultima materia*: letzte Zerfallsprodukte von Substanzen, Organismen, eines zu Ende geführten alchimistischen Scheidungsprozesses.

Ultima materia entweder Sulfur (brennbar, flüchtig),

Mercurius (lebendig, flüssig) oder Sal (fest). → 3 Stoffklassen.

- **Einfluss der Gestirne auf den menschlichen Körper.**

- **Neuer Animismus: positive von Gott geschaffene Elementargeister:**

Erde

Wasser

Feur

Luft

Gnomen

Undinen

Salamander

Sylphen.

Die Verschränkung der Vier-Elemente-Lehre mit der Drei-Elemente-Lehre

war die Form der Alchimie,

aus der vom 17. Jh. an schrittweise die neuzeitliche Chemie hervorging.

8. Ergänzungen

Verbindung der Elemente mit vielerlei Quaternitäten

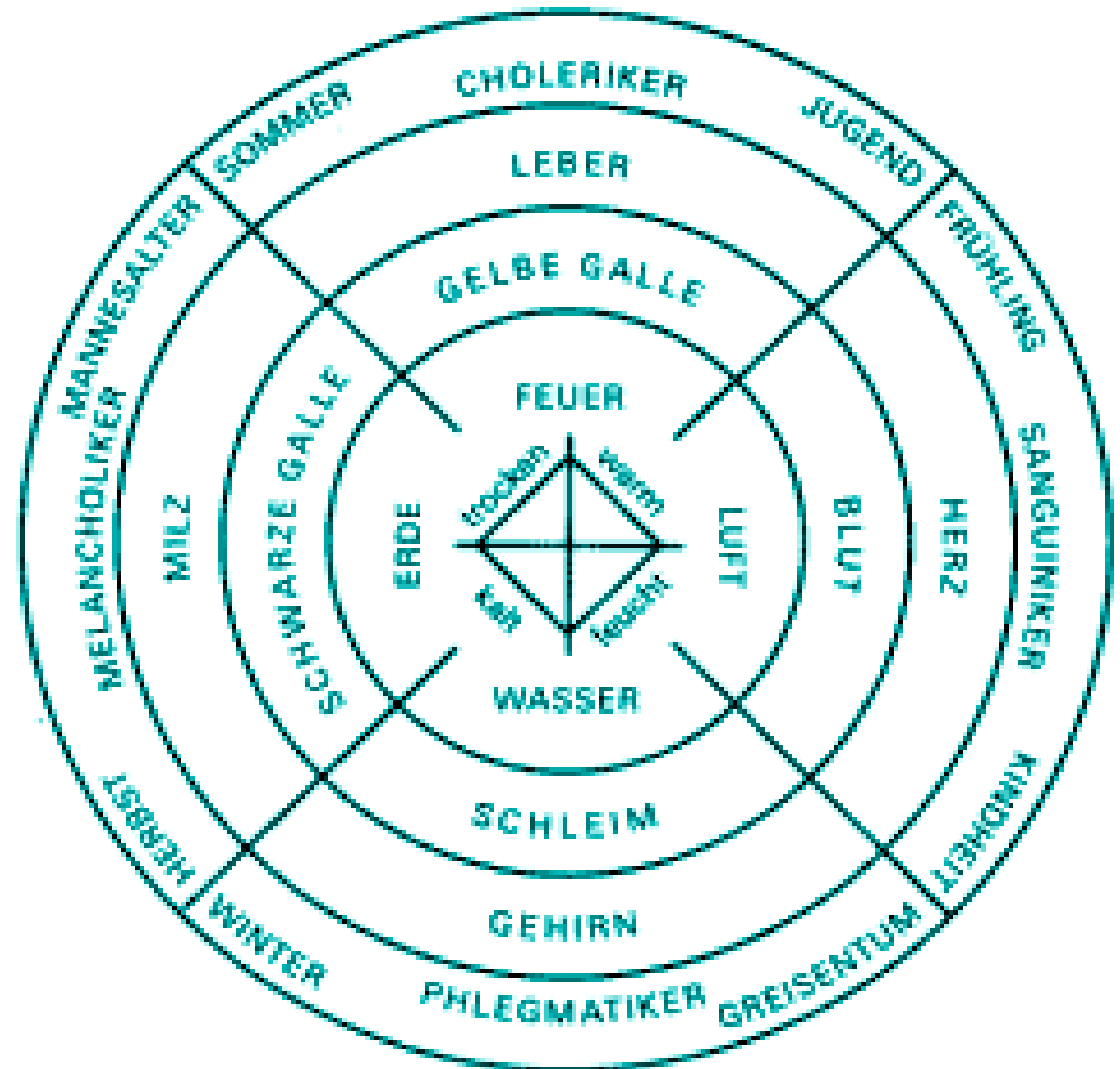
Medizin:

4 Kardinal-Organen erzeugen 4 versch. Körpersäfte, denen jeweils ein Temperament, Lebensalter u. eine Jahreszeit zugeordnet wird.

Weitere z. B.:

Tierkreiszeichen,
Himmelsrichtung,
Erzengel, Apostel,
Gottesnamen JHVH, I.N.R.I
Kirchentonarten

u. a. m.



Ergänzungen, Fortsetzung

Feuer als Symbol für Leben:

- 1. „Stoffwechsel“: Brennstoffe → Gase und Wasser,
chemische Bindungsenergie → Wärme und Licht.**
- 2. Es wächst und pflanzt sich fort, solange es genährt wird.**
- 3. Fließgleichgewicht zwischen Nahrungsaufnahme und Abgabe der
Endprodukte bei ständiger Erneuerung der „Körpersubstanz“.**
- 4. Es reagiert auf äußere Einflüsse.**

(Wikipedia, Artikel *Leben*, Mai 2008)

Kunst und Religion

- Goethe, Faust I: *Wer sie nicht konnte, / Die Elemente, /
Ihre Kraft / Und Eigenschaft, / Wäre kein Meister / Über die Geister.*
- Schiller, *Punschlied*:
Vier Elemente, innig gesellt, bilden das Leben, bauen die Welt.

9. Die Aufweichung des antiken Elementbegriffs in der Neuzeit

Allgemeines

1. Allmähliche Abkehr von der Vier- und auch der Drei-Elementelehre:

Joachim Jungius [Kettenlinie]: verwarf 1630 beide Lehren, auch das alchemistische Ziel der Erzeugung von Gold. Chem. Elemente seien einheitliche, nicht weiter zerlegbare Stoffe.

Robert Boyle [1661 $p \cdot v = \text{const.}$]: Chem. Elemente: die unzerlegbaren primitiven Stoffe, *die weder aus anderen Substanzen noch aus einander entstanden sind, sondern die Bestandteile bilden, aus denen gemischte Stoffe bestehen.* Er hielt aber Transmutation für möglich!

2. Ab \approx 2. Hälfte d. 16. Jh.: Rezeption der antiken Atomistik.

3. Verwendung der Waage.

„Äquivalente“ Proportionen (Massenverhältnisse, z. B. NaCl: 39:61) schon 1765 in d. Französ. Enzyklopädie: *Dogma von ewiger Wahrheit.*

4. Widerlegung des elementaren Status der 4 „Elemente“: mehrere Schritte:

Auflösung des Elemente-Status der Erde

- Vielfalt von Erden:

erkannte bereits die Alchemie, dann auch Joachim Jungius.

Elementetafel von Lavoisier 1789: noch fünf verschiedene Erden.

- Weidenzweig-Experiment:

Vorschlag von Nikolaus von Kues (1401 - 1464)

[Radikaler Bruch mit dem geozentrischen Weltbild,
Wegbereiter der Experimentalwissenschaft]

Experiment von (fläm.) Johan Baptista van Helmont (1580 - 1644):

Weidenschössling in Erde, bekam nur Wasser.

Nach 5 Jahren:

Baum wurde 74 kg schwerer, Erde verlor nur 57 g. => Scheinbar:

Feste Materie (= „Erde“) des Weidenbaumes

musste aus Wasser gebildet sein, weswegen van Helmont
der Erde den elementaren Charakter absprach.

Auflösung des Elemente-Status der Luft

Van Helmont

- Weitere quantitative Experimente: Verschiedene „Luftarten“, die sich v. anderen Dämpfen u. der gewöhnlichen Luft unterscheiden: 1624 *Gas* nach griech. *chaos*.
- um 1640: Verbrenng. v. Holz(kohle): Entdeckg. d. CO₂: *Spiritus sylvestre*.
- Van Helmont gewann auch die Gase CO und SO₂.

Joseph Black (1728 - 1799, schottischer Chemiker)

- studierte die Gase gründlicher, insbes. CO₂:
1754: CaCO₃ + Säure → *fixed air*. Diese schwerer als Luft, beim Einleiten in eine Lösung von Ca(OH)₂ Niederschlag.
In der Ausatemluft der Tiere.
- Seine Arbeiten bewiesen, dass Gase aus gewöhnlichen festen Körpern gewonnen werden u. an chemischen Reaktionen beteiligt sein können:
Wichtiger Schritt zum Fall der Phlogistontheorie.

Auflösung des Elemente-Status des Wassers

Wasserstoff: 1766 Henry Cavendish (Säure auf Metall) [Grav.-Waage].

Sauerstoff: 1771 Joseph Priestley, \approx 1772 Carl Wilhelm Scheele.

Cavendish: Knallgasreaktion: Wasser besteht aus Wasserstoff u. Sauerstoff.

Antoine Laurent de Lavoisier: Schrift 1781 beschreibt:

Reduktion von Wasser durch glühendes Eisen zu Wasserstoff,

Oxydation von Wasserstoff zu Wasser.

(Quantitativ Massen u. Wärmemengen; z. T. mit Pierre-Simon Laplace.)

Auflösung des Elemente-Status des Feuers

- **Van Helmont: Feuer sei überhaupt keine Substanz!**
- **Feuer auch: Licht u. zunehmend Elektrizität, Wärmestoff bis Mitte 19. Jh.**
- **\approx 1845 Energieerhaltung \Rightarrow Energie, den mechan. Energien äquivalent.**
- **Kuriosität: Feuer - offensichtlich von den anderen drei antiken „Elementen“ in der Stofflichkeit unterschieden - am längsten.**

10. Das Periodensystem von seiner Vorgeschichte bis zum Verständnis

William Prout 1815: H-Atom sei das einzig fundamentale Teilchen,
die Atome der anderen Elemente: Gruppierungen von H-Atomen.

Vorgeschichte des Periodensystems (Auswahl)

- **Johann Wolfgang Döbereiner: *Triaden***

1817: 1. Versuch, Elemente nach chem. u. math. Gesetzmäßigkeit zu ordnen.

1829: 4 Triaden: Li, Na, K; Ca, Sr, Ba; S, Se, T; Cl, Br, I.

- **Nachfolger (größere Gruppen): Leopold Gmelin 1827, M. Pettenkofer 1850**

Spektralanalyse 1859 (Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilh. Bunsen)

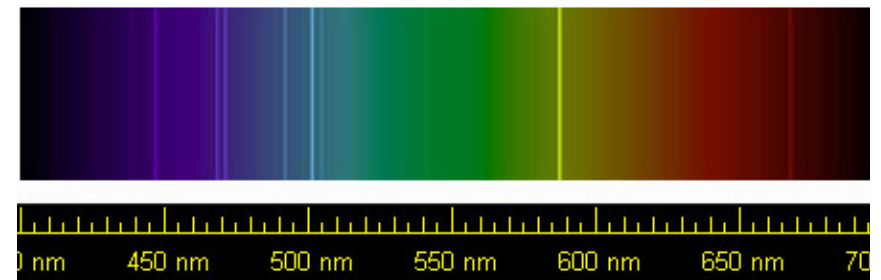
Erklärung der Absorptionslinien.

Neue Analysenmethode:

Beide entdeckten damit 1861 Cs u. Rb.

Elemente im Weltall sind dieselben!

1868 Jules Janssen u. Norman Lockyer: Entdeckung He in der Sonne. ↑



Die Entdeckung des Periodensystems

Unabhängige Entdecker, Anordnung nach steigendem Atomgewicht.

- 1862 Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois: *tellurische Helix* :
Schraubenlinie mit Ganghöhe von 16 Atomgewichtseinheiten:
chem. ähnliche Elemente auf der gleichen Mantellinie untereinander.**
- 1864 John Alexander Newlands: *Gesetz der Oktaven*. 24 Elemente.
Als Erster: Nummerierung. 1 Leerstelle bei Ge! Tellur vor Jod.**
- 1864 Lothar Meyer, 1. Tabelle: vermutete auch Ge, auch Tellur vor Jod,
spätere Verbesserungen!**
- 1865 William Odling: 45 Elemente (3 falsch eingeordnet), Tellur vor Jod,
zahlreiche Lücken, Periodizität bei 15.**
- 1867 Gustavus Detlef Hinrichs: spiralförmiges System.**
- 1869 Dmitri Mendelejew: 1. Tabelle
von insges. 60 Versionen, 30 davon veröffentlicht.
Vorhersagen neuer Elemente, etwa die Hälfte davon traf zu.**

Mendelejew's Periodensystem von 1871

Reihen	Gruppe I. — R^2O	Gruppe II. — RO	Gruppe III. — R^2O^3	Gruppe IV. RH^4 RO^2	Gruppe V. RH^3 R^2O^5	Gruppe VI. RH^2 RO^3	Gruppe VII. RH R^2O^7	Gruppe VIII. — RO^4
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	— — — —

Schwierigkeiten mit dem Periodensystem (PSE)

1) Tellur-Jod-Anomalie (und andere Inversionen)

Mendelejew wollte Korrektur aller dem PSE widersprechende Atomgewichte!
Lothar Meyer und Odling warnten davor.

2) Entdeckung der Lanthanoide (größter Teil von 1878 bis 1891)

L. Meyers Tab. wurden in dem Maße schlechter, wie er sie einordnen wollte.
Aber: Reihenfolge und Anzahl 14 richtig erkannt durch
Jørgen Jul. Thomsen u. Bohuslav Brauner (Brauner 2 Elemente vorhergesagt).

3) Entdeckung des Argons 1894 durch Lord Rayleigh u. William Ramsey

Ramsey vermutete neue Gruppe, entdeckte 1898 Ne, Kr, X. Dorn: Rn 1900.
Jørgen Jul. Thomsen ebenfalls richtige Voraussage der Edelgase.

4) Entdeckung der Radioaktivität (Henri Becquerel 1896):

a) Einordnung der neu entdeckten Zerfallsreihen-Glieder: Atomarten mit
gleichen chem. Eigenschaften, aber unterschiedlichen Zerfallsarten,
z. B.: Th X = ^{224}Ra , Uran Y = ^{231}Th , Actinon An = ^{219}Rn .

b) Man musste die Umwandlung der Elemente akzeptieren.

Marie Curie schon Jan. 1899, aber Mendelejew fiel dies schwer.

Klärung aller Probleme hieß: Grandiose Aufgabenstellung!

Lösung der Probleme

Atome \neq ἄτομος, \Rightarrow Anfang 20. Jh. Atommodelle:

1903 Joseph John Thomson: *Plumpuddingmodell*

1904 Hantarō Nagaoka: *Saturnmodell*

1910 Arthur Haas: Rumpf wie bei Thomson, erstmals Quantenbedingung.

H-Atom: Elektron auf Kreisbahn,

für den 1. angeregten Zustand gleiche Formel wie Bohr 1913.

1910 Ernest Rutherford: sehr kleiner posit. Atomkern, \approx gesamte Masse d. Atoms;
Elektronenhülle nicht näher beschrieben.

1913 Bohr: diskrete strahlungsfreie kreisf. Elektronenbahnen $L = n \cdot \hbar$, $f = \Delta E/h$.

1916 Sommerfeld: \approx Kepler-Ellipsen, aber 3 Quantenzahlen u. Periheldrehung.

1919 Rutherford: $^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow ^{17}\text{O} + p$: Entdeckung des *Protons*, diese sind Kernbestandteile. (Nachweis, dass kein C entsteht, erst 1925: Patrick Blackett).

1913 Isotopie

Joseph John Thomson: Neon ist Gemisch aus (stabilen) ^{20}Ne und ^{22}Ne .

Daraus: Frederick Soddy: *Isotopie* auch bei stabilen Elementen. \Rightarrow

Atomgewichte - vorher zentraler Begriff - sind nur gewogene Mittelwerte!

1913 Antonius van den Broek: Hypothese:
Element-Eigenschaften f (Ordnungszahlen Z)

Henry Gwyn Moseley (1887 - 1915):
überprüfte dies an der 1905 entdeckten
charakteristischen Röntgenstrahlung
der meisten Elemente von $_{13}\text{Al}$ bis $_{79}\text{Au}$:

1914: $\sqrt{\text{Frequenz } \nu} = k_1 \cdot (Z - k_2)$.

Moseley identifizierte $Z \equiv$ Kernladungszahl.

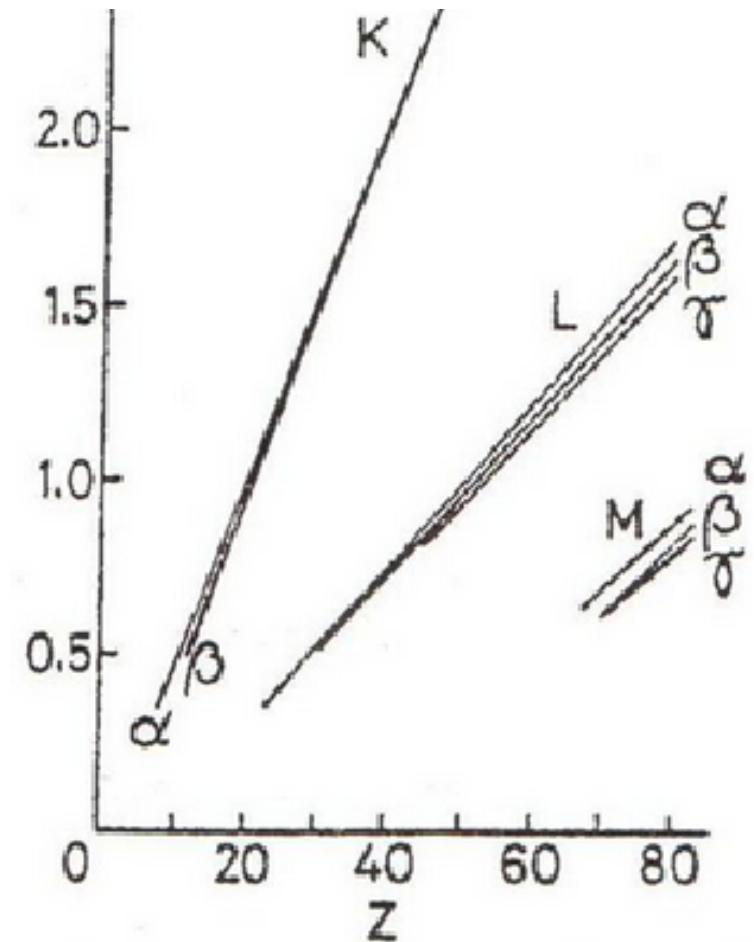
Folgerungen:

Richtig waren: Inversionen (z. B. Te/J),
Zahl d. Lanthanoide, Einordnung d. Edelgase,
L. Meyers Hypothese der engen Verbindung zw.
PSE u. Atomaufbau. Neue Element-Analyse.

Vorhersage unbekannter X-Spektren, bis Uran genau 92 Elemente,
davon 7 unbekannt. Z. B.: Entdeckung des Hf u. Re mittels dieses Gesetzes.

N. Bohr: Moseleys Arbeit *in mancher Hinsicht fundamentaler* als Entdeckg. d. PSE.

Durch Moseleys bahnbrechende Arbeit war
nach 2500 Jahren der Begriff des chemischen Elements geklärt.



1925: Vierte Quantenzahl u. Pauli-Prinzip:

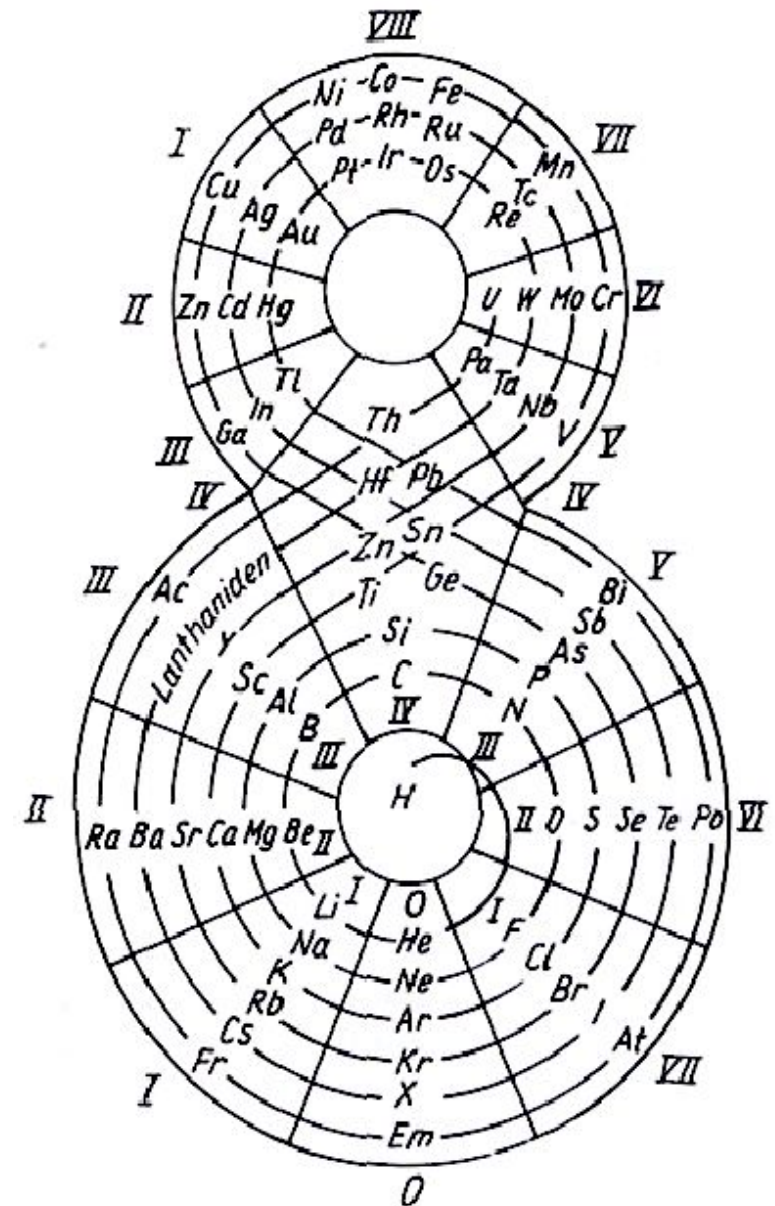
**Die Periodizität
in den Eigenschaften der Elemente
ist die Widerspiegelung der Periodizität
im Schalenbau der Atomhülle:**

Ausgehend vom Wasserstoff und
Z fortschreitend um eins erhöht:

1. Bohrsches Permanenzprinzip
(Quantenzahlen bereits gebundener
Elektronen ändern sich nicht),
2. Jedes neue Elektron
kommt in den Zustand, bei dem
der größte Energiebetrag frei wird,
3. Pauli-Prinzip regelt die Verteilung
der Elektronen auf die einzelnen Orbitale.

**Damit war nun auch das Periodensystem
grundsätzlich verstanden.**

Periodensystem von Friedrich Kipp 1942



11. Die letzten 100 Jahre

- 1925 -28: Quantenmechanik: Aufbau der Atomhülle prinzipiell geklärt.
- Vielfalt der Naturerscheinungen: Elektromagnetismus u. Gravitation.
- Physik fast vollendet: glaubten L. D. Landau, D. Iwanenko, Otto Hahn.
- 1929 Corbino: Große Entdeckungen zu erhoffen beim Angriff a. Atomkern.

(Bestätigung:) 1932 James Chadwick entdeckte das Neutron:

1932 neue Physik-Epoche: Kern- und subnukleare Physik

- 1932 E. Majorana, Heisenberg, Iwanenko: Kern aus Neutronen + Protonen.
- Frederick Soddy: Neutron unschätzbare Waffe zur Atom-Umwandlung.
- 1934 Fermi dadurch angeregt: Neutronenexperimente: Folgen immens!
- 1934 Fermi durch Pauli angeregt (*Neutrino*): schwache Wechselwkg. (Ww).
- 1964 George Zweig u. Murray Gell-Mann: Quark-Modell m. starker Ww.

Forschungsstand vom 16. Feb. 2023:

- 61 Elementarteilchen, die alle erzeugt und vernichtet werden können.
- Beschreibung ihrer 4 Ww: Quantenfelder bzw. allg. Rel.-Theorie:
- Das Vakuum ist nicht leer, hat phys. Eigensch. (Lichtkrümmg.) $\hat{=}$ Äther?
- Unbek. dunkle Materie im Weltall: 5,5mal mehr als gewöhnliche Materie.

12. Ist es heute noch sinnvoll, sich mit den vier Elementen zu befassen?

Die 4 Elemente sind nicht passé, sondern präsent. Beispiele:

Alexander von Humboldt (1769 - 1859): *Alles ist Wechselwirkung.*

Klaus Michael Meyer-Abich (1936 - 2018): Humboldt beschrieb die Erde nicht nur physikalisch u. chemisch, sondern lässt aus den Elementen die Lebewesen hervorgehen, *wie es jeder Pflanzenfreund immer wieder neu erlebt, wenn eine Pflanze in der Erde wurzelt und vermöge des Lichts aus Wasser und Luft ihre Gestalt bildet. Weil es gerade die klassischen vier Elemente sind, die in der Pflanze eins werden, sind sie es auch, die mit der Pflanze erblühen.*

- Humboldt: **Klima:** Resultat d. Wechselwirkung von Erde, Meer, Luft und Licht.
- Humboldt: **Luft:** enthält *im Sauerstoff das erste Element des Tierlebens*, zudem: *Trägerin des Schalles: also auch der Sprache, der Mitteilung der Ideen, der Geselligkeit unter d. Völkern. Der Erdball ohne Atmosphäre wäre klanglose Einöde.*

Meyer-Abich: Bemerkenswert! Nur schwer vorstellbar, dass ein Chemiker, der die Luft *in so liebevoller Anschauung wie Humboldt als ein Element des leiblichen und gesellschaftlichen Lebens wahrnimmt, sie so herzlos als ein freies Gut verwirtschaften [könne], wie es in der Industriegesellschaft geschieht.*

K. M. Meyer-Abich:

Wenn die Elemente zu den Pflanzen aufleben und dann auch zu den Tieren, sodaß letztlich in allen Lebewesen die Elemente uns ansehen - dann tun sie dies aber wohl auch schon als Berg und Fluß oder Meer und Wind.

Harold J. Morowitz (1927 - 2016) :

Die 4 Geosphären (Litho-, Hydro-, Bio- u. Atmosphäre) \approx den 4 Elementen.

Gernot Böhme (1937 - 2022) u. Hartmut Böhme (* 1944):

*Die **Umweltkrise** spitzt sich [gerade] in den „Reichen“ der vier Elemente zu. Die Vermutung liegt nahe, daß die Ausgrenzung der Elementelehre aus den Naturwissenschaften auf Verdrängungen beruht. [Also] scheint die Erinnerung an die Elemente, ihren Aufstieg und ihren Fall, im Interesse des Umdenkens und Umlenkens des zerstörerischen Naturumgangs sinnvoll.*

Rupert Sheldrake (geb. 1942):

Ausgerechnet in der Blütezeit der Naturwissenschaften ist unsere Natur derart rapide heruntergekommen, dass ihr baldiger Exitus droht.

Brian Swimme (geb. 1950):

Alle Schwierigkeiten, die wir auf diesem Planeten haben, [stammen] von unseren falschen Beziehungen zu Wind, Meeren, Lebensformen, Sonnenlicht und Land. Deshalb haben wir die Aufgabe, wieder in unsere wahren Beziehungen zu diesen seit Urzeiten wirksamen Erscheinungen einzutreten, denn die weitere Entwicklung der irdischen Lebensgemeinschaft ist auf diesen Reifeprozess unserer Spezies angewiesen.

(Wiss. Prognose: Erde könnte noch > 100 Mill. Jahre lang bewohnbar sein.)

Resümee

Die vier Elemente eignen sich mit ihrer Symbolkraft auch heute noch als Metaphern für große Bereiche des Seins. Sie gestatten neue Formulierungen von Sachverhalten, sie können uns den Verlust des Qualitativen wieder bewusst machen, und über sie zu reflektieren kann die Einsicht in einen notwendigen Paradigmenwechsel vertiefen.
