

Cornel Stan

Das Feuer ist kein Ungeheuer

Thermodynamik
der Wärme
und Arbeit
für jedermann

SACHBUCH

 Springer

Das Feuer ist kein Ungeheuer

Cornel Stan

Das Feuer ist kein Ungeheuer

Thermodynamik
der Wärme und Arbeit für jedermann

 Springer

Professor Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr. h.c. mult. CORNEL STAN
Forschungs- und Transferzentrum
e.V. an der Westsächsischen
Hochschule
Zwickau, Deutschland

ISBN 978-3-662-64986-2 ISBN 978-3-662-64987-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64987-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Einbandabbildung: © Alex Stemmers/Adobe Stock

Planung/Lektorat: Alexander Grün

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Brennen bleibt im Rennen!

„Klimaretter“ jeder Couleur, ob dafür qualifiziert oder nicht, ob in Ämtern sitzend oder im Fernsehen streitend, wollen das Feuer aus dem Leben der Menschen ganz eliminieren! Sie wollen die Feuerkraft mit Elektrizität aus Photovoltaik und Windkraft ersetzen. Ob das gut ist und ob Solarpaneele und Windräder reichen werden, um die Primärenergie der Welt abzusichern?

Das Feuer prägt seit Jahrtausenden die Existenz des Homo sapiens: Er braucht, als einziges Lebewesen auf dem Planeten, Feuer für die Zubereitung seiner Nahrung. Er braucht seit je her Feuer, um Ziegel, Zement und Stahl herzustellen. Er hat Feuer genutzt, um Maschinen zu bauen, die für ihn arbeiten oder sein Wesen zu Land, zu Wasser und in der Luft bewegen. Er nutzte vor allem immer Feuer für seine Wärme daheim und beim Werkeln.

In dem Buch wird in einem ersten Teil, über fünf Kapitel, beschrieben, wie der Mensch mit Hilfe des Feuers Materialien, Maschinen, Heizungsanlagen und Kraftwerke schuf. Es wird dabei gezeigt, wie das Feuer in manchen Wärmekraftmaschinen direkt auf das Arbeitsmittel greift und in anderen indirekt, über eine Wärmeübertragung zum Arbeitsmittel wirkt.

Nicht die Verbrennung oder die Verbrenner sind an der Umweltgefährdung schuld, sondern die Treibstoffe die

sie bislang bekamen. Stellen wir dem Feuer umweltfreundliche Brennstoffe zur Verfügung: In diesem Zusammenhang werden Ressourcen, Potentiale und Eigenschaften umweltfreundlicher oder ganz klimaneutraler Brennstoffe wie Wasserstoff, Biogas, Ethanol, Methanol, Pflanzenöle und synthetische Brennstoffe dargestellt. Die Emissionen, die ein Feuer verursachen kann, von Kohlendioxid über die Stickoxide bis zu den Partikeln, werden ebenfalls dargelegt.

In einem zweiten Teil des Buches, welches aus sechs Kapiteln besteht, wird gezeigt, welche Spielregeln einzuhalten sind, wenn man für die Zukunft effiziente und gleichzeitig umweltfreundliche Maschinen mit Feuerherz bauen will. Das ist ein Versuch, die wesentlichen Gesetze der Technischen Thermodynamik, die einem solchen Zweck dienen, einfach und für jedermann nachvollziehbar zu präsentieren. Es war tatsächlich eine große Herausforderung, solch Unternehmung ohne jegliche Zuhilfenahme von Differentialgleichungen, Integralen, sonstigen mathematischen Kraftproben und komplexen Diagrammen zu wagen. Es wird von Austauschmöglichkeiten zwischen Wärme und Arbeit erzählt, vom Wirkungsgrad einer Umwandlung der einen Energieform in die andere, von der Tatsache, dass durch eine Umwandlung sich die Energie nicht vermehren kann. Es werden Wege gezeigt, auf denen die Wärme in Arbeit, in Prozessen für thermische Maschinen, umgewandelt werden kann. Weiterhin werden die drei Wege der Übertragung einer Wärme erklärt und mit Beispielen belegt. Bei all den thermodynamischen Betrachtungen sind zwei Regeln zu beachten: die Irreversibilität der Prozesse in der Natur und in der

Technik, sowie die phänomenologische Herangehensweise, die jedem ein Leitfaden auch im eigenen Leben sein sollte.

In einem dritten und letzten Teil des Buches, welches aus drei Kapiteln besteht, wird dargelegt, ob und wie man ein Feuer zähmen kann. Zunächst erscheint das als kaum möglich, weil Feuer mit fossilen, umweltschädlichen Brennstoffen für ihre Förderer, Exporteure und Mittler nach wie vor ein sehr, sehr profitables Geschäft ist.

Neue, klimafreundliche Treibstoffe lassen dennoch das Feuer in sehr sparsam arbeitenden Maschinen und Anlagen sich richtig entfalten! Automobile mit Feuerherz und elektrischen Rädern gehören ebenso dazu wie gigantische Schiffsmotoren mit Methanol und Lastwagenmotoren mit Wasserstoff. Aber auch ein Feuer auf Basis von Müll, Gülle und Pflanzenresten, oder eine Second-hand-Wärme haben viel Potential für die Zukunft!

Wie man alternativ Wärme und Arbeit ohne Feuer generieren kann wird in einer Abschlussbetrachtung gezeigt: Windkraft, Wasserkraft und Photovoltaik werden in kompakter Form in Bezug auf ihrer physikalischen Wirkungsweise, auf technischen Ausführungen und auf weltweite Nutzung analysiert und diskutiert. Es wird deutlich, dass diese Formen nicht reichen können, um die Primärenergie der Welt abzusichern.

Die letzte Waffe, die Atomkraft, wird ebenfalls präsentiert und diskutiert.

Was wäre der Mensch ohne Feuer?

Vorwort

Dieses Buch ist ein Versuch die Leser zu überzeugen, auf ein solch unersetzbares Gut wie das Feuer nicht zu verzichten. Um eine große Wirkung bei der Lektüre zu erreichen, sollte man es vor dem Kamin oder am Lagerfeuer lesen.

Cornel Stan Zwickau, Deutschland, Januar 2022

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	IX
Teil I Feuer in der modernen Welt:	
Nutzung und Folgen	1
1 Das Feuer	3
1.1 Prometheus' brennendes Geschenk.....	3
1.2 Energie von Sonne und Feuer	6
1.3 Feuer und Flamme.....	9
1.4 Feuer für Nahrungszubereitung.....	15
2 Feuer für Wärme.....	19
2.1 Wärme für Raumheizung	19
2.2 Wärme für die Herstellung von Baustoffen	25
2.3 Wärme für die Herstellung von Metallen.....	30
3 Feuer für Arbeit	39
3.1 Feuer macht Druck	39
3.2 Druck für Arbeit: Mittelbare Wirkung des Feuers.....	45
3.3 Druck für Arbeit: Unmittelbare Wirkung des Feuers.....	53
3.4 Feuer direkt oder indirekt, auf Kolben oder vor Turbine?	68

4	Feuer mittels klimaneutraler Brennstoffe.....	71
4.1	Ressourcen, Potentiale, Eigenschaften.....	71
4.2	Biogas (Methan)	79
4.3	Alkohole: Ethanol und Methanol.....	81
4.4	Wasserstoff	94
4.5	Pflanzenöle.....	100
4.6	Synthetische Brennstoffe/Kraftstoffe	104
5	Feuer verursacht Emissionen.....	109
5.1	Das Kohlendioxid	109
5.2	Die Stickoxide.....	117
5.3	Die Partikel	125
	Literatur zu Teil I	133
	Teil II Thermodynamik des Feuers	139
6	Wärme und Arbeit ändern Zustände	141
6.1	Phänomenologische Betrachtung von Zustandsänderungen	141
6.2	Wärme, Arbeit, Freiheitsgrade der Eigenschaften.....	150
7	Arbeit aus Wärme.....	157
7.1	Energieaustausch	157
7.2	Energiebilanz von einem Zustand zum anderen.....	160
8	Arbeitsmittel als Träger von Wärme und Arbeit.....	169
8.1	Luft und Wasser sind Arbeitsmittel, Brennstoff nicht	169
8.2	Elementare Prozessabschnitte mit Gasen als Arbeitsmittel.....	176

9 Die Unumkehrbarkeit natürlicher Prozesse	187
9.1 Verbrennung ist irreversibel.....	187
9.2 Richtung und Grenzen der Energieumwandlungen.....	191
9.3 Entropie als Maß der Irreversibilität von Prozessen.....	199
10 Wege der Wärme zur Arbeit.....	205
10.1 Umsetzbarkeit und Grenzen der Prozesse in thermischen Maschinen...	205
10.2 Vergleich idealer Prozesse für thermische Maschinen.....	209
11 Wärmeübertragung	233
11.1 Die drei Wege der Wärmeübertragung.....	233
11.2 Die Wärmeleitung	238
11.3 Der Wärmeübergang (die Konvektion).....	242
11.4 Die Wärmestrahlung	247
Literatur zu Teil II	253
Teil III Die Zählung des Feuers.....	255
12 Öl ins Feuer gießen.....	257
12.1 Klimaneutralität: Europa und die Welt.....	257
12.2 Das profitable Geschäft mit Erdöl und Erdgas.....	266
13 Feuernutzung mit bestmöglicher und klimafreundlicher Wirkung	273
13.1 Automobile mit Feuerherz und elektrischen Rädern.....	273

Inhaltsverzeichnis

13.2 Verbrenner auf Wasser, auf der Erde und in der Luft.....	280
13.3 Feuer für Strom und Wärme	288
14 Second-hand Feuer	295
14.1 Strom und Wärme aus Müllfeuer.....	295
14.2 Gülle, Mist und Pflanzenresten als Basis für Second-hand Feuer	299
14.3 Second-hand Wärme aus primärem Feuer	304
15 Wärme und Arbeit ohne Feuer	311
15.1 Photovoltaik, Windkraftkraft und Wasserkraft reichen nicht aus	311
15.2 Die letzte Waffe: Die Atomkraft	332
Literatur zu Teil III.....	340
Zusammenfassung der Merksätze.....	345
Sachwortverzeichnis	359

Teil I

Feuer in der modernen Welt: Nutzung und Folgen



Das Feuer

1.1 Prometheus' brennendes Geschenk

Die Sonne, die unserer Erde Licht und Wärme hinstrahlt, glitt früher nicht irgendwie über die Köpfe der Menschen von Beijing nach Washington. Damals gab es weder Beijing noch Washington. In den Vorstellungen unserer Vorfahren spazierte die Sonne über den Himmel in einem Wagen, der von vier Hengsten gezogen wurde. Der Lenker war der Sonnengott *Helios* selbst. Morgens öffnete ihm Eos den Weg, abends folgte ihm Selene.

Die Mythologie erteilte, allerdings später, ab dem V. Jahrhundert v.Chr., diese ehrenvolle Aufgabe an Gott *Apollon*, der bis dahin noch viele andere Verpflichtungen hatte: Gott des Lichts, der Heilung, des Frühlings und der Künste, insbesondere der Musik und der Poesie.



Bild 1.1 Apollon und der Sonnenwagen, Georg Friedrich Kersting, 1822

Die Sonne am Himmel war aber auch die Quelle des heiligen Feuers, dessen Hüterin *Hestia* (bei den Römern *Vesta*), die Göttin von Heim und Herd war. Hestia, Schwester des obersten olympischen Gottes der

griechischen Mythologie, *Zeus* (bei den Römern *Jupiter*), war die älteste Tochter von *Kronos*. Und *Kronos* seinerseits war der jüngste Sohn der Erde (*Gaia*) und des Himmels (*Uranos*) [4].

Die Enkelin der Erde und des Himmels hütete also das olympische Feuer. Ihr Neffe, *Hephaistos* (bei den Römern *Vulcanus*), Sohn des *Zeus*, war für die Feueranwendung zuständig, als Gott der Schmiede- und der Baukunst: er schuf nicht nur die Paläste aller Götter, sondern auch den Blitz- und Donnerkeil von *Zeus*, und sogar *Helios`* Sonnenwagen!

Die Götter wollten aber das Feuer nur für sich selbst, für den weiteren Aufbau, die Warmhaltung und die Ernährung ihrer wohlhabenden Gesellschaft haben. Die Legendendichter der Antike waren offensichtlich wahre Visionäre, sie ahnten wohl die Entwicklung unserer modernen Welt.

Feuerbringer gab es aber glücklicherweise auch, damals wie heute. Bei den alten Griechen war es *Prometheus* (der „Vorausdenkende“), ein Bruder des Götterchefs *Zeus*. Als die Erde erschaffen war, aber keine intelligenten Bewohner hatte, nahm er Ton und schuf Menschen. Er brachte ihnen bei, außer Lesen, Schreiben und Rechnen, Häuser zu bauen und Kunst zu erschaffen. Und eines Tages erbeutete er für seine lieben, frierenden Menschen das Feuer, welches aus einigen Funken des *Helios-Sonnenwagens* entstand (Bild 1.1).

Das gefiel den Göttern überhaupt nicht. *Zeus* ließ den Dieb durch den Feueranwendungsgott *Hephaistos* an einen Felsen anketten. Den Menschen, die sich über das Feuer so freuten, schickte *Zeus* eine bezaubernde Fee namens *Pandora*, mit einer Büchse, als Geschenk.

Diese Büchse sollte aber auf gar keinen Fall geöffnet werden. Aber die Menschen machen seit je her das, was ihnen verboten wird, das wussten auch die alten Götter genau. Aus der Büchse entwichen, als Preis des Feuers jegliche Laster und Untugenden - Übel, Mühen, Krankheiten und selbst der Tod. Und so eroberte das Schlechte die Welt. In der Büchse blieb aber, trotz des hastigen Wiederschließens, noch die Hoffnung.

Manche Autoren meinen, dass die Büchse später ein weiteres Mal geöffnet wurde. Und wieder andere Autoren teilen diese Ansicht nicht, aber sie hoffen inzwischen, dass das irgendwann passieren wird.

1.2 Energie von Sonne und Feuer

Die Sonne weist an ihrer Oberfläche Temperaturen zwischen 5500 – 6000 Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) auf. (*im Inneren der Sonne herrschen Temperaturen von bis zu 15 Millionen $^{\circ}\text{C}$*). Als Vergleich: die Temperatur eines gesunden Menschen an seiner Oberfläche, also auf der Haut, beträgt 36°C .

Prinzipiell sendet jeder Körper aufgrund seiner Temperatur **elektromagnetische Wellen** aus [1]. Das wird als Energiestrahlung, jedoch umgänglich als **Wärmestrahlung** (aufgrund der Wellenfrequenz im Infrarotbereich, auf denen der maximale Energieanteil gesandt wird) bezeichnet.

Eine Wärmeübertragung durch Strahlung erfolgt grundsätzlich ohne Körper- oder Massenkontakt, mittels ganz winziger, schwingender Teilchen namens **Photonen**.

Die Sonne strahlt also Energie zum Menschen hin. Der Mensch strahlt aber auch Energie zur Sonne hin! Die Bilanz wird jedoch von der Sonne bestimmt, aufgrund der viel größeren **Strahlungsintensität** (*Energie pro Volumeneinheit*) auf einer weitaus höheren **Frequenz** der elektromagnetischen Wellen (*Schwingungen pro Sekunde, bezeichnet als Hertz*).

Die Sonnenstrahlung wird zum überwiegenden Teil, wie vorhin erwähnt, in dem Frequenzbereich einer Wärmestrahlung emittiert [2]. Innerhalb dieses Bereiches liegt übrigens auch die für Menschen sichtbare Strahlung, oder schlicht, die **Lichtstrahlung**.

Genau in diesem sichtbaren Bereich hat die Sonnenstrahlung ihre höchste Intensität, selbst wenn auch auf niedrigeren Frequenzen (*Infrarotbereich*), beziehungsweise auf höheren Frequenzen (*Ultraviolett- und weiter Röntgenbereich*) geringe Anteile gestrahlt werden ([Bild 1.2](#)).

Die Strahlungsintensität auf einer jeweiligen Frequenz der elektromagnetischen Wellen ergibt eine **Wärmestromdichte** (*Watt pro Quadratmeter Fläche*). Deren Wirkung auf den Menschen ist, vereinfacht, wie folgt erklärbar:

- Die Wärmestromdichte durchdringt die Haut des Menschen als **Wärmestrom** (*Watt*).
- Der Wärmestrom wirkt innerhalb einer Zeitspanne als **Wärme** (*Watt-Sekunde, oder Kilowatt-Stunde*).
- Die übertragene Wärme wird dann im Körper als **Innere Energie** (*Watt-Sekunde, oder Kilowatt-*

Stunde, oder auch *Kilojoule*, früher als *Kilokalorie* ausgedrückt) gespeichert.

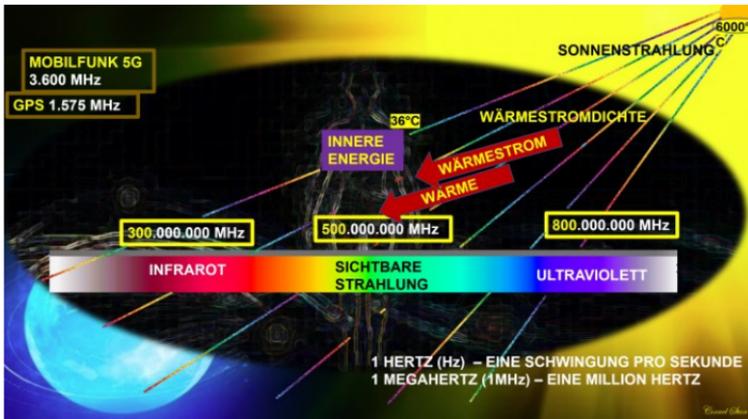


Bild 1.2 Die Sonnenstrahlung erhöht die innere Energie eines Körpers

Die Sonne im Himmel war aber auch die Quelle des heiligen Feuers, wie aus der Mythologie überliefert und durch die Wissenschaft bestätigt wurde.

Das Feuer ist die äußere Erscheinung einer Verbrennung, als chemische Reaktion zwischen einem Brennstoff und Sauerstoff. Es ist grundsätzlich durch eine Wärmestrahlung und gelegentlich durch eine Lichtstrahlung (als Flamme von Gasen und Dämpfen oder als Glut eines festen Stoffes) gekennzeichnet.

Die wesentlichen Merkmale eines Feuers können durch die folgenden Beispiele verdeutlicht werden:

Eine **chemische Reaktion** findet meist zwischen zwei Substanzen statt. Währenddessen werden zwischen den Substanzen Atome ausgetauscht, wodurch die Struktur der oder des neuen Produktes neugestaltet

wird. Eine solche Reaktion kann exotherm (mit Wärmeabgabe in die Umgebung) oder endotherm (mit Wärmezugabe von der Umgebung) ablaufen.

Flambieren wir mit einem langen Streichholz einen Cognac: Der Schwenker wird warm, über ihm erscheint eine vorwiegend blaue Flamme. Das Ethanol in dem Cognac hat nach dem Anzünden mit Sauerstoff aus der Luft reagiert und ist in der Flammenregion zu Kohlendioxid und Wasserdampf geworden. Das noch flüssige Ergebnis unter der Flamme ist leicht kandiert und sehr schmackhaft (dieses Experiment wird nicht für minderjährige Schüler empfohlen).

Die **Wärmestrahlung** und die **Lichtstrahlung** wurden bereits in kurzer Form definiert.

1.3 Feuer und Flamme

Die **Flamme** ist die für Menschen sichtbare Wärmestrahlung während einer Verbrennung. Flammen können als langsam laufende Schlieren (laminar) oder in Form von Verwirbelungen (turbulent) vorkommen.

Jede der Farben in einer Flamme, von rot und gelb bis blau, entspricht der lokalen, momentanen Temperatur in der brennenden Masse während der chemischen Reaktion.

Je höher die Verbrennungstemperatur in einer Region des Gemisches von Brennstoff und Sauerstoff (pur oder aus der Luft), desto höher wird die Intensität und

die Frequenz der jeweiligen Wärmestrahlung, farbmäßig geht es dementsprechend von Infrarot in Richtung Ultraviolett.

Die **Verbrennung mit Flammenfront** ist eine sehr überschaubare Form des Vorgangs. Sie ist dann gegeben, wenn der Brennstoff beispielsweise in Form von kleinen flüssigen Tropfen vorliegt, die in gleicher Entfernung voneinander schweben und jeweils von Luft umgeben werden. Wenn das Benzintröpfchen sind, so sollten, der chemischen Bilanz zuliebe, rund 15 Milligramm Luft einen Tropfen mit 1 Milligramm Gewicht umgeben [1].

Warme Luft begünstigt die Verbrennung: Die Brennstofftropfen verdampfen dadurch besser, was der chemischen Reaktion mit dem Sauerstoff aus der Luft zugutekommt. Wie wird aber diese Reaktion in Gang gesetzt? Man muss dafür das Gemisch (bei flüssigen und gasförmigen Brennstoffen) oder die Zusammensetzung von Brennstoff und Luft (bei festen Brennstoffen wie Kohle, Holz oder Heu) bis zu einer Zündtemperatur bringen.

Bei Holz und Kohle beträgt diese Temperatur um die 300°C, bei Benzin und Dieselkraftstoff etwa 50°C weniger, bei Ethanol 100-150°C mehr, bei Erdgas sogar um 350°C mehr. Diese Erwärmung muss nicht gleichzeitig im ganzen Gemisch erfolgen, es genügt eine lokale Erhitzung, mit einem Streichholz (wie beim Flammbieren von Cognac), mit einer Kerze oder, viel effizienter, mit einer Zündkerze. Die chemische Reaktion pflanzt sich dann von dort aus im ganzen Gemisch fort. Die Temperatur des Funkens in einer Zündkerze kann beispielsweise 1500°C, oder in manchen Ausführungen bis zu 4000°C erreichen. Temperatur ist aber

immer ein Indiz der inneren Energie der jeweiligen Materie, im Fall des Funkens ist es Plasma.

Die Teilchen in dem Funken platzen also von Energie, sie knallen mit enormen Geschwindigkeiten in alle Richtungen. Sie peitschen in Folge regelrecht auf die Ketten von *Kohlenstoff-Wasserstoff-Kohlenstoff-Wasserstoff*-... in einem Benzintropfen, sie peitschen auf die Ketten *Sauerstoff-Sauerstoff* in den Sauerstoffmolekülen, auf die Ketten *Stickstoff-Stickstoff* in den Stickstoffmolekülen die in der Luft vorhanden sind. Solch ursprüngliche Ketten zwischen den Atomen von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff werden an vielen Stellen gebrochen.

Daraus entstehen, als sehr reaktionsfreudige Radikale, zahlreiche Scherben und Splitter: *Kohlenstoff-Sauerstoff* (*Kohlenmonoxid*), *Sauerstoff-Wasserstoff* (*Hydroxyl*), *Stickstoff-Sauerstoff* (*Stickoxid*), oder einfache Atome von *Kohlenstoff*, *Sauerstoff* und *Sauerstoff*.

Diese regelrechte Explosion ist von einem Temperaturanstieg von mehr als 1000°C begleitet. Während sich die freien Radikale die fehlenden Atome von Wasserstoff oder Sauerstoff in ihrer Umgebung suchen, bewirkt ihre hohe Temperatur das Zünden des frischen Gemisches von Brennstoff und Luft in der benachbarten Schicht. Daraus wird eine Kettenreaktion, es bildet sich eine breite Flammenfront, die sich mit hohen oder niedrigen Geschwindigkeiten, je nach Reaktionsbedingungen, fortpflanzen kann [1]. Hinter der Front bricht die Suche nach fehlenden Atomen relativ schnell ab, weil neue, weitgehend stabile Moleküle, wie Kohlendioxid und Wasser, bereits gebildet wurden.

Viele Spezialisten der Verbrennungsmotoren-Entwicklung nutzen für die Analyse eines Verbrennungsvorgangs in einem Motorbrennraum einfache Zwei-Zonen-Modelle: Auf der Zündkerzenseite verbrannte Gase, auf der anderen Seite frisches Gemisch von Brennstoff und Luft, dazwischen die fortschreitende Flammenfront. Man kann so zunächst Drücke, Temperaturen oder Energien in jeder dieser Zonen in jedem Zeitabschnitt eines Verbrennungsvorgangs grob ermitteln.

In realen Vorgängen kommt eine solche geschlossene Reaktionsfront kaum vor. Manche Splitter (freie Radikale) schießen eben weiter ins Gemisch, es entstehen lokale Herde mit hoher Temperatur und mit hohem Druck. Man kann die Temperaturen oder die Drücke in einem Brennraum wie auf einer Alpenkarte lesen: überall Spitzen und Täler. Was aber nicht wie auf der Alpenkarte ist: Sowohl Drücke als auch Temperaturen gleichen sich in jedem Moment in ihrer nahen Umgebung aus. Das ergibt Turbulenzen in kleinem Maßstab und Verwirbelungen im großen Maßstab, dadurch nimmt die Fläche zwischen Brennstoff und Luft in dem gleichen Volumen eines Brennraums zu, es ist wie bei Mayonnaise schlagen.

Es gibt aber auch untypische Formen der Verbrennung, insbesondere in Kolbenmotoren, die bei der Darstellung anderer Arten von Feuerungen in diesem Buch aufschlussreich sein können.

Die **klopfende Verbrennung** kommt insbesondere in Kolbenmotoren mit Fremdzündung (Ottomotoren) vor [1]. Sie kann unter bestimmten Umständen in begrenzten Brennraumzonen unkontrolliert, mit weitaus höherer Geschwindigkeit, um 1.000 Kilometer pro Stunde,

als bei der üblichen Flammenfortpflanzung (rund 200 Kilometer pro Stunde) vorkommen. Dadurch verursachte lokale Druckspitzen pflanzen sich dann als Druckwellen in den gesamten Brennraum fort und rufen starke Schwingungen hervor.

Ein solcher Vorgang ist wie folgt erklärbar: Die Fortpflanzung der zunächst initiierten normalen Verbrennung verursacht eine Verdichtung des noch nicht verbrannten Gemisches, insbesondere in den von der Zündquelle weit entfernten Zonen. Ein lokaler Druck- und Temperaturanstieg führt dort zum schlagartigen Brechen von langen Kraftstoffketten, wie bei Kraftstoffen mit niedriger Oktanzahl.

So ging es ungefähr in den Zweitaktmotoren des DDR-Trabis, wenn man wegen des sehr geringen, staatlich unterstützten Preises Waschbenzin in den Tank kippte!

Die **Glühzündung** entsteht auch unabhängig von einer Zündquelle, allgemein an heißen oder glühenden Zonen an Brennraumoberflächen [1]. Dieser Vorgang entwickelt sich etwa mit der Flammenfrontgeschwindigkeit einer normalen Verbrennung, was sie von der klopfenden Verbrennung unterscheidet.

Die Selbstzündung wird bei modernen Otto- und Dieselmotoren zunehmend kontrolliert und gesteuert. Das bringt Vorteile bezüglich des Verbrauchs und der Schadstoffemissionen, insbesondere der Stickoxydemissionen.

Dabei werden Zonen von frischem Luft-Kraftstoff-Gemisch mit heißem, bereits verbranntem Abgas umgeben, so gut das gelingt. Durch die innere Energie des umgebenden Abgases wird die Verbrennungsreaktion in den einzelnen Zonen eingeleitet. Der Umstand, dass

diese innere Energie weitaus niedriger als die Energie aus einer Fremdzündquelle ist, äußert sich zwar in einer niedrigen Verbrennungsgeschwindigkeit in jener Zone; die Verbrennung findet jedoch gleichzeitig in zahlreichen Zonen statt. Das macht den gesamten Verbrennungsablauf sanft, aber gleichzeitig zügig.

Die neu entwickelte, kontrollierte Selbstzündung in Otto- und Dieselmotoren verschafft diesen Gattungen Wirkungsgrade über 50% und drückt die Emissionen von Stickoxyden und weiteren Schadstoffen unter die gesetzlichen Grenzen, auch ohne Katalysatoren!

Die **Verbrennung mit Diffusionsflammen** kommt beispielsweise in Kolbenmotoren mit klassischer Selbstzündung (Dieselmotoren) vor und ähnelt der vorhin beschriebenen Glühzündung, wobei, *anstatt Abgas um Luft-Kraftstoff-Inseln, heiße Frischluft um Kraftstofftropfen zugeführt wird* [1].

Die Einleitung der Verbrennungsvorgangs erfolgt nicht von einer externen Zündquelle, oder von heißen, verbrannten Gasen, sondern durch die hohe Temperatur der stark verdichteten Luft um die Kraftstofftropfen im Brennraum.

Die Fortpflanzung der Verbrennungsreaktion ist im Vergleich mit einer fremdgezündeten Variante langsamer. Die Reaktionseinleitung von der erwärmten Luft im Zylinder erfordert andererseits keine fremde Zündquelle, wodurch sich die Reaktion auch nicht mehr als Flammenfront fortpflanzt. Demzufolge ist auch die gleichmäßige Verteilung einer bestimmten Menge von Luft um jeden Brennstofftropfen nicht mehr erforderlich. Generell besteht bei einem Selbstzündverfahren

die Bedingung, dass genug Luft um die Kraftstofftropfen vorhanden ist, je mehr, desto besser. Jeder Kraftstofftropfen wird so zu einer brennenden Insel in einem Meer von heißer Luft.

Eine Flammenfront bei Fremdzündung mag schneller sein, wenn aber während einer Selbstzündung alle Kraftstoff-Luft-Gemisch-Inseln langsamer, jedoch auf einmal brennen, ist die Dauer der ganzen Verbrennung insgesamt kürzer!

1.4 Feuer für Nahrungszubereitung

Die ältesten attestierten Feuerlegungen durch Homo erectus stammen aus der Wonderwerk-Höhle in Südafrika und sind etwa eine Million Jahre alt [5]. Die ältesten durch Menschen angelegten Feuerstellen in Europa, auf den heutigen Gebieten von England, Frankreich und Ungarn, sind „nur“ 400.000 Jahre alt [6], [7], [8].

Homo erectus hat das Feuer allerdings nicht selbst erfunden. Von Prometheus hat er es in Wirklichkeit auch nicht geschenkt bekommen. Es kam höchstwahrscheinlich von dessen Bruder und Götterchef, Zeus, er hatte doch die Macht über alle Blitze! Und die Blitze waren eher Strafe als Geschenk! Nach wie vor fallen jeden Tag vier bis zehn Millionen Blitze auf die ganze Erde, das sind im Durchschnitt etwa 50 pro Sekunde!

Die Temperatur in einem Blitz beträgt rund 30.000 °C, also rund zehnmals mehr als im Funken einer Zündkerze. Die unmittelbar umgebende Luft wird schlagartig auf dieser Temperatur erhitzt. Ein Blitz erreicht

eine elektrische Spannung von 100 Millionen Volt und eine Stromstärke von etwa 400.000 Ampere. Blitze haben eine sehr kurze Dauer, es sind nur 0.1 bis 0,2 Sekunden. Dafür ist ein Blitz lang, sehr lang, zwischen 5 und 10 Kilometern!

Hat jemand schon einmal gesehen wie ein solch langer Blitz in eine große gewaltige Eiche, die allein auf einem Feld stand, einschlägt? Sie wurde in Sekundenbruchteilen zu Staub, ich wollte meinen Augen nicht trauen!

Homo erectus sah nicht nur zahlreiche Blitze, sondern auch Erdbrände durch Selbstzündung. Er erkannte so die Vorteile eines Feuers: Licht, Wärme, Schutz vor Raubtieren und Insekten aller Art. Dann war auch noch das gegrillte Fleisch der vom Blitz getroffenen Tiere, es roch so gut wie wir es von einem amerikanischen Steakhouse kennen, es schmeckte auch viel, viel besser als das bis dahin gekaute rohe Fleisch. Geräucherte Tiere waren durch die Vernichtung von Parasiten, Bakterien und Viren auch länger genießbar.

Der Mensch lernte also mit der Zeit, in Anbetracht solch interessanter Erkenntnisse, ein Feuer selbst zu entfachen [9].

Die **Reibung** von Holzstöcken war die einfachste Form die für die Zündung notwendige Hitze zu erzeugen. Jeder, der jemals ein Lagerfeuer im Gebirge entfacht hat, weiß, dass die Methode sicher ist, wenn auch mühsam.

Funken erzeugen, beispielsweise durch das Schlagen eines Feuersteines (Silex, ein Kieselerde aus Siliciumdioxid) gegen ein Mineralgestein wie Pyrit oder Markasit, brachte auch den gewünschten Erfolg.

Die **Lichtbündelung des Sonnenlichtes** durch Hohlspiegel oder durch Lupen hat sich im Laufe der Geschichte zum Entfachen eines Feuers ebenfalls bewährt.

Licht und Wärme durch selbst entzündetes Feuer waren für Homo erectus der Beginn einer neuen Zeit. Und kein rohes Fleisch mehr, das tat nicht nur Magen und Darm gut, sondern auch dem Kiefer, der etwas dünner wurde. Das half dem besseren Artikulieren von Konsonanten, seine Aussprache wurde dadurch deutlicher.

- Das Essen wurde mit der Zeit nicht mehr nur gegrillt, wie vom Blitz, sondern auch noch gesiedet, geschmort, gebraten, gebacken [10].

Und das hat sich in einer Million Jahren auch nicht geändert: Je uriger in einem noblen Lokal gekocht wird, desto geschätzter ist dieses bei den Kunden. Was ist ein High-Tech-Edelstahlofen in der Küche gegenüber einer von Steinen umrandeten Feuerstelle mit offener Flamme auf der Terrasse, neben dem Tisch? Was ist eine Mikrowelle gegenüber einem holzbefeuerten Backsteinofen in einer klassischen italienischen Pizzeria?

Der Mensch ist das einzige Wesen in der Fauna der Erde, das sein Essen zum überwiegenden Teil mittels Feuer verarbeitet!

Das *Grillen* oder das *Schmoren* von Fleisch war nur der Anfang der Feuernutzung für die Menschennahrung: Es folgten das *Kochen* von Reis, Gemüsesuppe und Tee, das *Räuchern* von Fisch oder Fleisch, das *Backen* von Brot oder Pizza, und, nicht vergessen, das *Sieden* von Bier und das *Brennen* von Obstler!

Manche Wissenschaftler behaupten, dass das Überleben des Homo sapiens allein durch Rohkost fraglich gewesen wäre. Nichtmenschliche Primaten benötigen am Tag etwa 10-mal mehr Zeit, um ihr rohes Fressen zu verzehren, als der Mensch sein gekochtes Essen. Darüber kann man natürlich mit den Gelehrten auch streiten:

Ein 5-Gänge-Mittagessen in der Toskana dauert doch auch zehnmal mehr als das Kauen eines Big Macs von Drive In von McDonalds, obwohl in beiden Fällen alles gekocht, gebraten und gebacken ist!



Feuer für Wärme

2.1 Wärme für Raumheizung

Am Anfang war es das Lagerfeuer, was nach wie vor, bei unseren High-Tech-verwöhnten Mitbürgern immer noch sehr beliebt ist. Mit der Zeit hatten die Menschen Behausungen, mit offenem Feuer in geschlossenen Grotten. Das blieb so auch später, in gebauten Räumen. Über Brände und Gasvergiftungen wurde uns aus dieser Zeit nichts überliefert.

Die alten Römer fanden in diesem Zusammenhang eine geniale Lösung: Feuer draußen, Wärme drinnen! Die dazu benützte Anlage hieß *Hypokaustum* und ist heutzutage immer noch sehr begehrt als Warmluftheizung (Bild 2.1)! Der Brennofen stand dabei meistens im Freien oder in einem vom Haus getrennten Heizraum und war mit Holz oder mit Holzkohle befeuert. Die Archäologen haben aber auch festgestellt, dass in größeren Kreisen im Umfeld römischer Siedlungen die Wälder ziemlich abgeholzt waren!