

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	11
Abbildungsnachweis	13
1. Erdöl – gestern, heute, morgen	14
2. Was ist Erdöl?	18
3. Wie entsteht Erdöl?	23
4. Porosität und Permeabilität	25
5. Erdölfallen	27
6. Der Oberrheingraben	31
7. Erdöl im Oberrheingraben	35
7.1. Erdöllagerstätten	35
7.2. Erdölmuttergesteine	36
7.3. „Erdölküchen“	37
7.4. Reservoirs	38
7.4.1. Sandstein.....	38
7.4.2. Kalkstein und Dolomit.....	40
7.5. Abdichtende Deckschichten: die „Seals“	41
8. Erdölförderung in Weingarten, wie es dazu kam	42
8.1. Erste Überlegungen.....	42
8.2. Erdölproduktion in Deutschland 1871–1918.....	43
8.3. Fautenbruch und Forst – die ersten Erdölfelder in Baden.....	44
8.4. Ein Jahrzehnt der Innovationen: die 1920er Jahre	45
8.5. Reichsbohrprogramm und neues Bergrecht	48

9. Die Erdölfelder Weingarten und Werrabronn	50
9.1. Erschließung	50
9.2. Fündigkeit.....	58
9.3. Geologie und Tektonik	59
9.3.1. Erdölträger.....	59
9.3.2. Schichtlagerung und Tektonik	63
9.3.2.1. Weingarten.....	63
9.3.2.2. Werrabronn	66
9.3.3. Förderbarkeit des Erdöls	68
9.4. Erdölgewinnung.....	69
9.4.1. Aufteilung der Produktion.....	69
9.4.2. Förderung	70
9.4.3. Qualität des Erdöls aus Weingarten und Werrabronn.....	74
9.4.4. Feldes- und Förderabgaben	76
9.4.5. Wert des geförderten Erdöls – eine Schätzung.....	76
9.5. Technische Einrichtungen und administrative Organisation.....	80
9.5.1. Bohrtechnik	80
9.5.1.1. Bohranlagen.....	80
9.5.1.2. Bohrspülung	89
9.5.1.3. Verrohrung des Bohrlochs.....	90
9.5.2. Erdölförderanlagen	93
9.5.3. Aufbereitung, Verladung und Verarbeitung.....	100
9.5.4. Betriebshof und Bohrmeisterhaus	101
9.5.5. Labor.....	105
9.5.6. Verwaltungsgebäude	107
9.6. Die Belegschaft	107
9.6.1. Arbeiter	108
9.6.2. Angestellte	112

9.6.3. Leitung	113
9.6.3.1. <i>Wilhelm Raub</i>	114
9.6.3.2. <i>Dr. Erich Holm von Prosch</i>	115
9.7. Einwände, Schäden und Unfälle	116
10. Das Ende der Erdölförderung in Weingarten und Werrabronn	121
10.1. Produktivität im Vergleich zu benachbarten Erdölfeldern	121
10.2. Veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen	121
10.3. Ende der Erdölförderung	123
10.4. Rückbau der Förder- und Produktionsanlagen	123
Epilog	125
Nachlese: Die Erdölfelder Weingarten und Werrabronn in der Presse.....	126
Schriften	129
Glossar	135

Vorwort

Anlass für dieses Buch und zugleich Ansporn, sich intensiver mit dem Thema zu befassen, war die äußerst kurz gehaltene Zusammenfassung über die Geschichte des Erdölfeldes Weingarten in der Ortschronik von WILHELM KELCH (1985). Die 29 Jahre, in denen in Weingarten und Werrabronn Erdöl gefördert wurde, sind im Vergleich zu den 1000 Jahren Ortsgeschichte ein nahezu vernachlässigbarer Zeitraum. Aber in diesen wenigen Jahren waren die für Erdölfelder charakteristischen Bohr- und Fördertürme, Tiefpumpen, Kehrräder und Pipelines fast überall in Weingarten zu sehen und, wie alte Fotos zeigen, durchaus ortsbildprägend. Wieso gab es in Weingarten so viele Fördertürme und Bohrstellen? Aus welcher Tiefe wurde das Erdöl gefördert und aus welchen Schichten? Wie viel Erdöl wurde überhaupt gefördert, und welche Firmen waren an der Erschließung der Erdölfelder in Weingarten und Werrabronn beteiligt? Die Neugierde an dem Thema war geweckt.

Die Recherche begann bereits in den 1990er Jahren. Es wurden alte Zeitschriften und wissenschaftliche Publikationen in den Bibliotheken der ETH Zürich gesichtet, Dokumente konnten im Generallandesarchiv in Karlsruhe und im Bergamt in Freiburg i. Br. (heutiges „Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau“) eingesehen und kopiert werden. Ein großes Glück war, dass noch Zeitzeugen befragt werden konnten. Hierbei war vor allem Frau MARTHA JULIA VON PROSCH, die Witwe des ehemaligen Erdölgeologen ERICH HOLM VON PROSCH, sehr behilflich, da sie noch die Namen vieler ehemaliger Beschäftigter kannte. Ihr verdanke ich auch das umfangreiche Fotoarchiv ihres verstorbenen Mannes zu den Erdölfeldern im mittleren Oberrheingraben (Weingarten, Werrabronn, Leopoldshafen, Knielingen, Graben, Dudenhofen), das sie mir großzügigerweise übergeben hatte. Fotos wurden freundlicherweise auch von HANS BARTHOLOMÄ, ANIAN W. STEINERT, PHILIP STAPPEL, GÜNTER EMRICH und OSKAR STAMMANN für das schon damals geplante Buchprojekt zur Verfügung gestellt. Ihnen allen gilt mein besonderer Dank.

Berufliche Gründe verzögerten die Fertigstellung des Buches um mehr als drei Jahrzehnte. Erst im Ruhestand, genau 60 Jahre nach Ende der Erdölförderung in Weingarten, war die Zeit gekommen, dieses Projekt zum Abschluss zu bringen. Das Buch beginnt mit einer kurzen Einführung in das Thema „Erdöl“ (Kap. 1). Es folgen Kapitel zu den Fragen, was Erdöl ist, wie es entsteht und wie es in Lagerstätten angereichert werden kann (Kap. 2–5). Die Erdölfelder Weingarten und Werrabronn liegen im Oberrheingraben. Folglich wird zunächst versucht, zu erklären, was der Geologe unter einem „Graben“ versteht, und eine kurze Einführung in die Geologie des Oberrheingrabens zu geben (Kap. 6). Das Kap. 7 befasst sich mit der Erdölgeologie des Oberrheingrabens: Wo liegen die Lagerstätten, aus welchen Gesteinen stammt das Erdöl („Erdölmuttergesteine“) und unter welchen Bedingungen wird es mobilisiert („Erdöl-

küchen“), wo wird es angereichert („Reservoir“) und was verhindert den Aufstieg des Erdöls bis zur Erdoberfläche („Seals“)? In Kap. 8 werden die wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen unmittelbar vor Beginn der Erschließung des Erdölfeldes Weingarten beschrieben. Schließlich wird in Kap. 9 versucht, einen ausführlichen Überblick über die verschiedenen Aspekte der Entwicklung der ehemaligen Erdölfelder Weingarten und Werrabronn zu geben, angefangen bei der Erschließung und Fündigkeit über die Geologie der Lagerstätten bis zur Erdölgewinnung und den technischen und administrativen Einrichtungen. Die Beschreibung der technischen Einrichtungen entspricht dem Stand der Technik im Zeitraum der Erschließung und Produktion in den beiden Erdölfeldern. Sie unterscheidet sich zum Teil deutlich von der Technik, die heute in Erdölfeldern bei der Erschließung und Förderung zur Anwendung kommt. Die Leistung der Belegschaft für ihren Einsatz und ihre Arbeit bei der Erschließung der Erdölfelder und der Produktion zu würdigen und den Arbeitern, Angestellten und der technischen Leitung ein Gesicht zu geben, ist Ziel des vorletzten Abschnitts dieses Kapitels. Abschließend wird auf Probleme und Konflikte eingegangen, die sich aus der Erdölförderung ergaben. In Kap. 10 geht es um das Ende der Erdölförderung in Weingarten und Werrabronn. Als Nachklang der „Weingartener Erdölzeit“ wird in Kap. 11 noch kurz auf die Erdölbohrung Steig 1 auf Weingartener Gemarkung eingegangen. Die „Nachlese“ (Kap. 12) beschäftigt sich mit einigen Presseberichten zu den Erdölfeldern in der Umgebung von Bruchsal. Das Schriftenverzeichnis listet die verwendeten Veröffentlichungen auf. Internet-Informationen werden im Text als Fußnoten angegeben, ebenso besonders interessante Dokumente, die im Generallandesarchiv oder im Bergamt eingesehen werden konnten. Die Urheber der verwendeten Abbildungen (Fotos und Graphiken) sind im Abbildungsverzeichnis aufgelistet. Das recht umfangreiche Glossar liefert kurz gefasste Definitionen bereits im Text verwendeter und erklärter Fachbegriffe. Dem interessierten Leser wünsche ich nun viel Freude und neue Erkenntnisse bei der Lektüre.

Linkenheim-Hochstetten im Frühjahr 2025

ARNFRIED BECKER

1. Erdöl – gestern, heute, morgen

Erdöl wird heute meistens über Bohrungen aus großen Tiefen gefördert (Abb. 1-1), auf dem Festland (*onshore*) oder auch auf dem Meer (*offshore*) von fest verankerten oder schwimmenden Bohrplattformen aus. Die Erdölfelder liegen oft in entlegenen Regionen der Erde – in Wüsten, Urwäldern oder den Polargebieten – oder in schwer zugänglichen Gebieten wie dem Meeresboden. Dennoch ist Erdöl seit langem ein bekannter Rohstoff, nachweislich seit dem Altertum. Der Grund dafür liegt in seiner geringen Dichte, die i. Allg. niedriger ist als die Dichte von Wasser, d. h. Erdöl ist leichter als Wasser. Zudem lassen sich Wasser und Erdöl nicht mischen. Kommen Wasser und Erdöl gemeinsam in einer porösen Gesteinsschicht vor, so hat das Erdöl aufgrund dieser Eigenschaften die Tendenz, sich vom Formationswasser zu trennen und in die höchst gelegenen Bereiche der porösen Gesteinsschicht zu wandern, wo es nur durch eine abdichtende

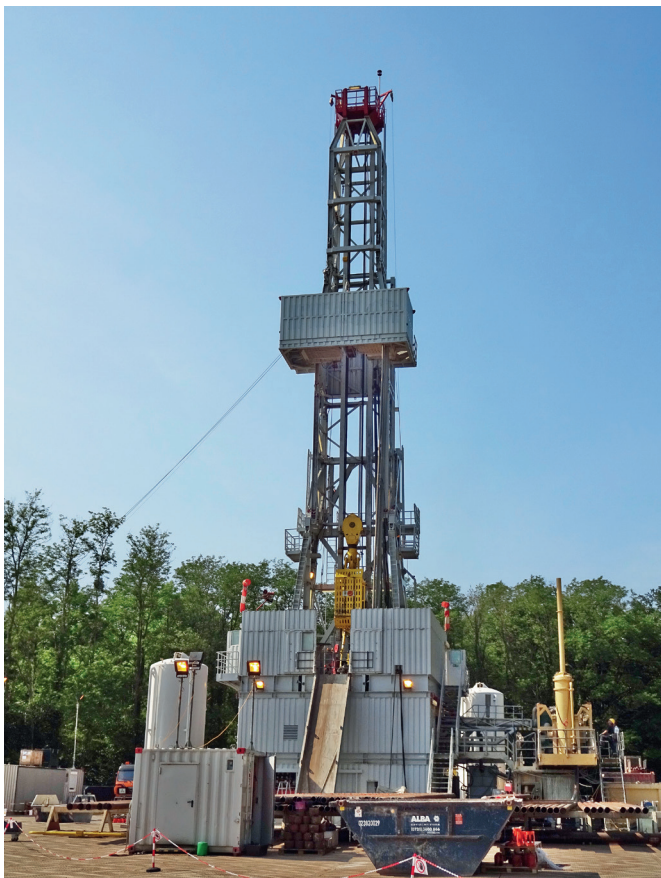


Abb. 1-1: Erdölbohrung „Steig 1“ auf Weingartener Gemarkung am 4. Juni 2019.

Deckschicht zurückgehalten wird. Fehlt eine solche abdichtende Deckschicht, kann Erdöl bis zur Erdoberfläche aufsteigen. Durch Reaktion mit dem Sauerstoff der Luft und dem Verlust leicht flüchtiger Komponenten wird das normalerweise recht dünnflüssige Erdöl an der Erdoberfläche bald zu einem zähflüssigen Stoff, dem Naturasphalt (auch Bitumen oder Erdpech genannt) (Abb 1-2).

Solche natürlichen Erdölaufstritte an der Erdoberfläche führten schon früh dazu, dass sich Menschen mit den Eigenschaften dieses Stoffes beschäftigten und Anwendungsmöglichkeiten fanden. In Mesopotamien, im Gebiet des heutigen Irak,

waren natürliche Erdölauftritte geradezu allgegenwärtig. Erdöl und natürlich entstandenes Bitumen (Naturasphalt) wurden an solchen natürlichen Austrittsstellen abgeschöpft und gewonnen, es wurden aber auch bereits Gruben ausgehoben, so im Gebiet von Hit im heutigen Irak, um das aus dem Gestein zutretende Erdöl zu gewinnen (PLATZ 1937). Bitumen (lat. „pix tumens“: ausschwitzendes Pech) wurde von den Babyloniern als Bindemittel beim Bau von Häusern, Befestigungsanlagen und Straßen verwendet (HECHT 1943a), Erdöl womöglich auch schon als Leuchtmittel, worauf das babylonische Wort „naptu“ für Erdöl weist, was so viel wie „leuchten“ bedeutet. Griechen, Phönizier und Römer dichteten mit Bitumen ihre Schiffe ab und verwendeten es auch als „Schiffsteer“ zum Anstrich (HECHT 1943a). Und wie zu erwarten, wurde Erdöl und seine Produkte auch für Kriegszwecke eingesetzt: Schon die Perser unter Xerxes I. schleuderten mit brennendem Bitumen und Rohbenzin („Naphtha“) gefüllte Gefäße auf belagerte Städte und Befestigungsanlagen; die Belagerten versuchten wiederum mit Feuerpfeilen Belagerungstürme in Brand zu setzen. Im Byzantinischen Reich war Erdöl Bestandteil einer Waffe, dem „griechischen Feuer“, einer Art Flammenwerfer (HECHT 1943b). Perser und Griechen schmierten die Achsen ihrer Streitwagen mit Erdölprodukten, ebenso die Römer die Achsen ihrer Fuhrwerke. Und noch im 19. Jahrhundert mussten Reisende zusätzlich zu den Fahrtkosten eine feste Gebühr zum Schmieren der Achsen der Pferdefuhrwerke bezahlen, das sog. „Schmiergeld“.

Auch in Mitteleuropa gibt bzw. gab es natürliche Erdölauftritte. So in Bayern, wo am Westufer des Tegernsees Benediktinermönche 1441 natürlich austretendes Erdöl entdeckten, das als „St. Querinus-Öl“ zu Heilzwecken verwendet und auch noch nach der Aufhebung des Klosters Tegernsee erfolgreich „vermarktet“ wurde (SCHREITER 1937). Darüber hinaus sind natürliche Erdölauftritte aus Niedersachsen bekannt, so in der Nähe von Oelheim, Oberg, Wietze und am Teerkuhlenberg bei Hänigsen sowie aus dem Elsass in Pechelbronn. Auch diese Vorkommen wurden bereits vorindustriell vielfältig genutzt, u. a. als Arzneimittel gegen Gicht, als Beleuchtungsmittel und als Schmierstoff. Bekannt sind die „Wietzer Kerle“, die in der



Abb. 1-2: Sobald das flüssige Erdöl aus dem Bohrloch austrat, wurde es extrem dickflüssig, so dass „Erdölblöcke“ mit der Schaufel verladen werden konnten.

Umgebung der Lüneburger Heide ebenso wie die „Karichschmiermänner“ im nördlichen Elsass mit Holzfässern auf einem kleinen Karren über die Dörfer zogen, um Schmierstoffe aus Wietze bzw. Pechelbronn zu verkaufen (PETROLEUM 1937, MOEBIUS 1942, SITTLER et al. 1995).

Es war bekannt, dass sich einige Leichtöle (vgl. Kap. 9.4.3) besonders gut für Beleuchtungszwecke nutzen ließen. Bereits in der Antike war Leichtöl als Leuchtmittel verbreitet, beispielsweise als Lampenöl (HECHT 1943a). Franziskanermönche verwendeten Ende des 16. Jahrhunderts ein Leichtöl aus der Gegend von Tartagal im Norden Argentiniens, das ohne chemische Aufbereitung mit recht heller Flamme in gewöhnlichen Dochtlampen brannte (PLATZ 1937). Bereits 1808 gelang es den österreichischen Salinenverwaltern JOSEF HECKER und JOHANN MITIS, aus Rohöl Leuchtöl zu gewinnen (VON BIELSKI & VON BIELSKI 1937), jedoch geriet ihre Entdeckung bald wieder in Vergessenheit. 1846 gelang es dem Arzt und Geologen ABRAHAM PINEO GESNER durch chemische Aufbereitung („Destillation“) aus Erdöl ein besonders hell leuchtendes, rußarm verbrennendes Leuchtöl zu erzeugen, das „Petroleum“. Der Zeitpunkt für die Erzeugung von Petroleum war günstig, da durch den Einbruch der Walbestände infolge übermäßigen Walfangs Mitte des 19. Jahrhunderts das Lampenöl, das bis dahin aus dem Tran der Wale gewonnen wurde, knapp und teuer wurde. Als Ersatz stand jetzt Petroleum zur Verfügung. Erste Petroleum-Straßenbeleuchtungen wurden bereits von GESNERS 1850 gegründeten Firma „Kerosene Gaslight Company“ in Halifax, Kanada, installiert¹. Es folgten weitere Städte in Kanada und den USA. In Europa führte Bukarest 1857 die ersten Petroleum- und Gasstraßenleuchten ein. Und 1853 perfektionierte der Lemberger Apotheker IGNAZ LUKASIEWICZ die Petroleumlampe für den Hausgebrauch (VON BIELSKI & VON BIELSKI 1937), wodurch die Nachfrage nach Petroleum stark anstieg und das „Erdölzeitalter“ begann.

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts wurde Erdöl ausschließlich oberflächennah gewonnen: aus natürlichen Erdölaustritten, wo es abgeschöpft wurde, aus flachen Gruben und aus bis zu 200 m tiefen Schächten, aus denen das aus den erdölführenden Schichten einsickernde Erdöl abgepumpt wurde (PLATZ 1937, VON BIELSKI & VON BIELSKI 1937). Hauptfördergebiete in Europa waren Galizien im heutigen Polen und der heutigen Ukraine, Ploesti in Rumänien und Baku im heutigen Aserbaidschan. Die erste Erdölbohrung wurde bereits 1813 in Pechelbronn bis auf eine Tiefe von 42 m niedergebracht (REINHOLD 2022). Weitere Erkundungsbohrungen auf Erdöl erfolgten aber erst in den 1850er Jahren in Dithmarschen (1856), Wietze (1858) und in Titusville (1859). Der erste Erdölboom zwischen 1857 und 1897 wurde vor allem durch die stark gestiegene Nachfrage nach Lampenöl ausgelöst, der erst endete, als die Petroleumlampen durch elektrische Leuchtmittel ersetzt wurden.

Mit der Förderung des Erdöls war es nicht getan. Es musste zur Aufbereitung zu den Raffinerien und von dort zu den Verbrauchern gebracht werden. Dazu bedarf es geeigneter

¹ Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Abraham_Gesner

Transportmittel. Anfangs wurde das Erdöl in Fässer (engl. „*barrel*“) abgefüllt und mit zweirädrigen Karren oder Pferdefuhrwerken zur Raffinerie oder zur nächsten Bahnstation transportiert (KRAFTSTOFF 1941). Günstiger ist der Transport per Schiff. Das erste Tankschiff, die „Zoroaster“², wurde von LUDVIG NOBEL, einem Bruder des Nobelpreisstifters ALFRED NOBEL, entworfen, 1878 in Schweden gebaut und 1879 im Kaspischen Meer zwischen den Ölfeldern in Baku und der Wolgamündung eingesetzt. Noch kostengünstiger und vor allem auch kontinuierlich kann das Erdöl in Rohrleitungen (engl. „*pipelines*“) transportiert werden. Die erste Erdöl-Pipeline wurde 1864 in Pennsylvania (USA) unter der Leitung von DANIEL VAN SYCKLE von Pithole zu der 7 km entfernten Eisenbahnstation Millers Farm gebaut (KRAFTSTOFF 1941). Die erste Langstrecken-Erdölpipeline war die 175 km lange Tidewater-Pipeline³, die 1879 unter der Leitung von BYRON BENSON nach nur dreimonatiger Bauzeit (!) zwischen Rixford und Williamsport in Pennsylvania, USA, in Betrieb genommen wurde. Folge war, dass die Frachtraten der Bahn für Erdöl drastisch von 85 Cent/Barrel auf 30 Cent/Barrel sanken. Dennoch war der Pipeline-Transport noch immer billiger als der Transport mit der Bahn (KRAFTSTOFF 1941).

Durch die zunehmende Industrialisierung und die damit verbundene Nachfrage nach Leuchtmitteln, Schmier- und Baustoffen sowie Grundstoffen für die chemische Industrie und schließlich durch die beginnende Motorisierung Anfang des 20. Jahrhunderts stieg die Nachfrage nach Erdölprodukten rasant an. Im 20. Jahrhundert wird Erdöl zum wichtigsten Energieträger. Es ist der Rohstoff, aus dem Benzin, Diesel und Kerosin gewonnen werden. Ohne Erdöl wäre die (erste) Mobilitätswende vom Pferdefuhrwerk zum Kraftwagen nicht möglich gewesen. Mit Erdölprodukten wurden Autos angetrieben, wodurch das lästige Problem des Pferdedungs auf den Straßen der Städte endlich gelöst wurde (dafür aber andere Probleme geschaffen wurden). Darüber hinaus wurden Flugzeuge und Schiffe angetrieben und mit Heizöl Häuser beheizt, und das vielfach bis heute. Neben der Nutzung als Energieträger ist Erdöl auch ein wichtiger Grundstoff für die chemische und pharmazeutische Industrie, aus dem u. a. Kunststoffe, Kleidungsstoffe, Farben und Lacke sowie pharmazeutische Produkte hergestellt werden, und auch im Straßenbau hat Erdöl als Bitumen im Asphalt eine große Bedeutung.

Wie sich heute zeigt, ist die übermäßige Nutzung „fossiler Energieträger“, wozu neben Erdöl auch Erdgas, Kohle und im geringen Umfang Torf gehören, eine der Hauptursachen für den gegenwärtigen globalen Klimawandel. Gegenzusteuern und die sich aus dem Klimawandel ergebenden Folgen für die Umwelt und die Menschheit zu minimieren, ist eine der wichtigsten Aufgaben in der Gegenwart und der Zukunft. Dennoch werden Erdöl ebenso wie Erdgas und Kohle auch zukünftig wichtige Rohstoffe für die Industrie sein, aber wohl nicht mehr als Energieträger.

2 Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Zoroaster_\(Schiff\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Zoroaster_(Schiff))

3 Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tidewater-Pipeline>

2. Was ist Erdöl?

Erdöl ist eine in der Erdkruste natürlich vorkommende Flüssigkeit, die im Wesentlichen aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen besteht. Kohlenwasserstoffe sind chemische Verbindungen, deren Hauptkomponenten Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) sind. Kohlenstoffatome können sich zu langen Ketten oder ringförmigen Strukturen verbinden, an die sich Wasserstoffatome andocken. Der Kohlenstoff in diesen Verbindungen ist 4-wertig, d.h. er kann sich beispielsweise mit vier anderen Atomen verbinden, die 1-wertig sind, z. B. Wasserstoff (H) wie in Methan (CH_4), oder mit zwei 2-wertigen Atomen, beispielsweise Sauerstoff (O) wie in Kohlendioxid (CO_2).

Die meisten kettenförmigen Kohlenwasserstoffe im Erdöl gehören in die Gruppe der Alkane (Abb. 2-1). Der einfachste Vertreter dieser Gruppe ist das bereits erwähnte Methan mit nur einem Kohlenstoff- und vier Wasserstoffatomen (CH_4). Ethan ist C_2H_6 , Propan C_3H_8 und Butan

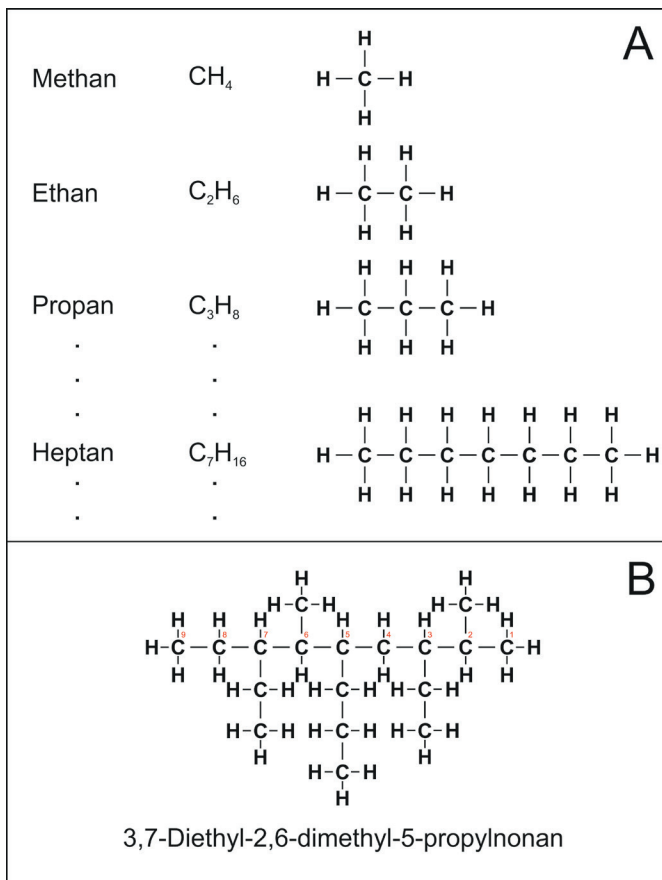


Abb. 2-1: Beispiele für einige n-Alkane (A) und ein i-Alkan (B).

C_4H_{10} . Es gibt Kohlenwasserstoffketten mit 10, 15, 20 und mehr Kohlenstoffatomen, wobei die Anzahl der Wasserstoffatome in den Verbindungen stets der mit zwei multiplizierten Anzahl der Kohlenstoffatome plus zwei Atome entspricht: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ mit $n = 1, 2, 3, \dots, 20, \dots$ Diese einfachen, linearen Kohlenwasserstoffe, die sog. n-Alkane (Abb. 2-1A), lassen über ihre Zusammensetzung und die Art der n-Alkane Rückschlüsse auf die Entstehung des Erdöls zu, das diese n-Alkane enthält. Sie spielen daher bei der Klassifizierung der verschiedenen Erdöle eine wichtige Rolle (BRUSS 2000, BÖCKER et al. 2017).

Neben den einfachen, linearen Kohlenwasserstoff-

ketten, den n-Alkanen, gibt es ab dem Butan (C_4H_{10}) kettenförmige Kohlenwasserstoffe mit Abzweigungen, die die gleiche Summenformel (C_nH_{2n+2}) wie die n-Alkane haben, sich aber in der Strukturformel durch die Anordnung der Atome voneinander unterscheiden. In diesem Fall wird von einer Strukturisomerie gesprochen und die Alkane werden als Isoalkane bzw. i-Alkane bezeichnet. Ein Beispiel für ein i-Alkan zeigt die Abb. 2-1B.

Mit den i-Alkanen wird die Variabilität allein schon der kettenförmigen Kohlenwasserstoffe nahezu grenzenlos. Das und die Bedeutung der Kohlenwasserstoffe für die chemische Industrie haben dazu geführt, dass sich ein Teilgebiet der Chemie, die „organische Chemie“, speziell mit dem Aufbau und den Eigenschaften der Verbindungen des Kohlenstoffs befasst.

Kohlenwasserstoffketten können sich auch zu ringförmigen, zyklischen Verbindungen schließen, wobei an den beiden Enden der Ketten jeweils ein Wasserstoffatom verloren geht. Das ist die Stoffgruppe der Cycloalkane oder Naphthene (Abb. 2-2). Das kleinste Cycloalkan ist das Cyclopropan mit drei miteinander verbundenen Kohlenstoffatomen, an die je zwei Wasserstoffatome gebunden sind. Die Summenformel ist C_3H_6 . Es folgen Cyclobutan (C_4H_8), Cyclopentan (C_5H_{10}), Cyclohexan (C_6H_{12}) usw. Die allgemeine Summenformel lautet C_nH_{2n} mit $n = 3, 4, 5, \dots$

Eine weitere Gruppe ringförmiger Kohlenwasserstoffe bilden die Aromaten. Die Bezeichnung „Aromaten“ nimmt Bezug auf den angenehmen, aromatischen Geruch einiger Vertreter dieser Stoffgruppe. Der bekannteste und einfachste Vertreter ist Benzol (C_6H_6). Benzol bildet eine Ringstruktur aus sechs Kohlenstoffatomen, die zur Hälfte über Doppelbindungen miteinander verknüpft sind und an die je ein Wasserstoffatom gebunden ist (Abb. 2-3). Die Aromaten bilden komplexe Strukturen, die sich häufig aus einem oder mehreren Benzolringen und Cycloalkanen zusammensetzen, wie das im Erdöl vorkommende Indan (C_9H_{10}), das Tetrahydronaphthalin ($C_{10}H_{12}$) oder das Biphenyl ($C_{12}H_{10}$), um nur einige Beispiele zu nennen.

Erdöl ist im Wesentlichen eine Mischung dieser verschiedenen Kohlenwasserstoffe mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen. Anhand seiner spezifischen Zusammensetzung und der daraus resultierenden Eigenschaften kann jedes Erdöl einem bestimmten Vorkommen zugeordnet werden. Entsprechend der Zusammensetzung wird paraffinrei-

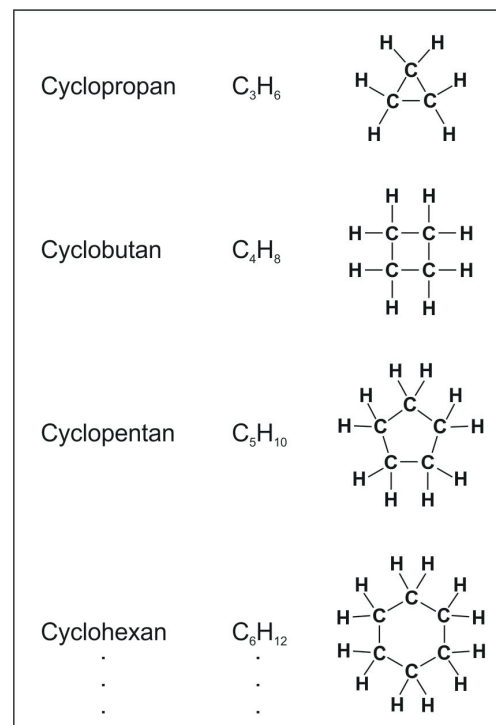


Abb. 2-2: Namen, Summen- und Strukturformeln einiger Cycloalkane.

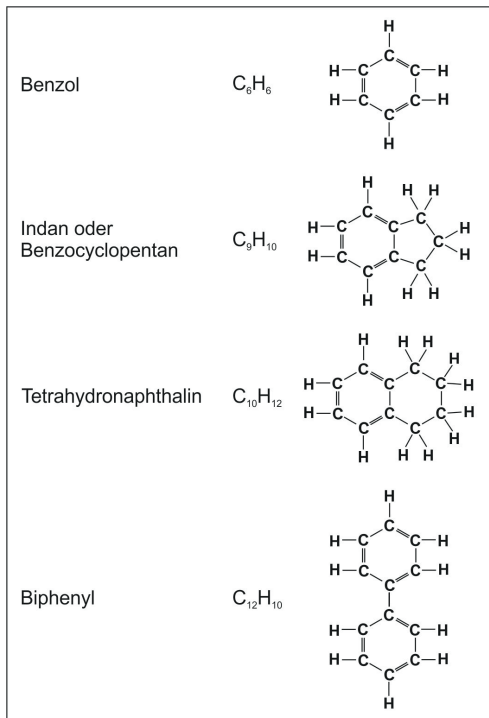


Abb. 2-3: Namen, Summen- und Strukturformeln einiger Aromaten.

und ab Heptadekan (17) fest. Bei den Cycloalkanen sind die Phasenübergänge im Vergleich zu den n-Alkanen zu höheren Temperaturen verschoben, nur leicht für die Siedetemperaturen, z. T. deutlich für die Schmelztemperaturen. Cyclopropan (3) und Cyclobutan (4) sind bei Raumtemperatur gasförmig, bis einschließlich Cycloundekan (11) flüssig und ab Cyclododekan (12) fest. Einige im Erdöl auftretende Aromaten sind unter Raumtemperatur flüssig oder bei komplexeren Verbindungen fest. Da Erdöl eine Mischung verschiedener Kohlenwasserstoffe ist, wird anhand der Abb. 2-4 auch klar, dass Erdöl keinen Siedepunkt hat wie eine Flüssigkeit, die nur aus einer Komponente besteht, wie z. B. Wasser (100 °C auf Meeresniveau), sondern einen Siedebereich, der sich aus der Zusammensetzung des Erdöls ergibt. Je höher der Anteil langkettiger oder hochkomplexer Kohlenwasserstoffe am Erdöl ist, desto höher liegt der Siedebereich und desto zähflüssiger ist das Erdöl bei Raumtemperatur; der Siedebereich ist niedriger und das Erdöl dünnflüssiger, wenn der Anteil kurzkettiger Kohlenwasserstoffe am Erdöl hoch ist.

Eine wichtige Materialeigenschaft ist die Dichte. Sie gibt an, welche Masse [in g oder kg] ein Stoff mit einem bestimmten Volumen [in cm^3 oder m^3] hat. Sie wird meistens in $[g/cm^3]$ oder $[kg/m^3]$ angegeben. Die Abb. 2-5 zeigt die Dichten verschiedener n-Alkane, Cycloalkane und einiger Aromaten unter Laborbedingungen ($T = 20\text{ °C}$, $p = 1\text{ bar}$). Unter diesen Bedingungen sind die kurzkettigen n-Alkane Methan (1) bis Butan (4) gasförmig mit entsprechend geringen

ches Erdöl mit einem hohen Anteil an Alkanen von naphthenreichem und aromatischem Erdöl unterschieden. Nebenbestandteile im Erdöl sind Verbindungen, die vor allem Schwefel, Stickstoff und Sauerstoff enthalten. Die Erdöle im Oberrheingebiet haben zumeist einen hohen Paraffin- und niedrigen Schwefelgehalt (MAUTHE et al. 1993).

Die physikalischen Eigenschaften von Erdöl hängen von den Komponenten ab, aus denen das Erdöl zusammengesetzt ist, sowie der Temperatur und dem Druck. Die Phasenübergänge von fest zu flüssig und von flüssig zu gasförmig verschiedener n-Alkane, Cycloalkane und einiger Aromaten in Abhängigkeit von der Temperatur unter Normaldruck (1 bar) zeigt die Abb. 2-4. Bei einer Temperatur von 20 °C („Raumtemperatur“) sind die n-Alkane von Methan bis einschließlich Butan gasförmig, von Pentan (5) bis Hexadekan (16) dünnflüssig bis sehr zähflüssig (hochviskos)

Dichten. Ab Pentan (5) bis Pentadekan (15) sind die n-Alkane flüssig, darüber hinaus (≥ 16) fest. Die Dichten der flüssigen und festen n-Alkane steigen kontinuierlich von $0,63 \text{ g/cm}^3$ für Pentan (5) auf $0,79 \text{ g/cm}^3$ für Eikosan (20) an. Die Dichten der n-Alkane bleiben stets

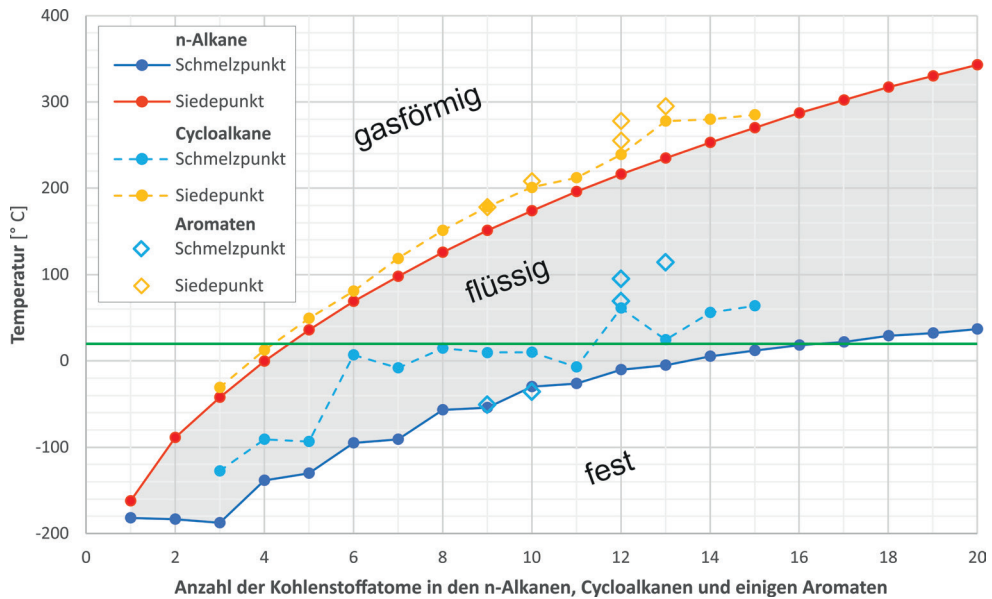


Abb. 2-4: Phasenübergänge von fest zu flüssig und von flüssig zu gasförmig für einige Kohlenwasserstoffe unter Normaldruck (1 bar). Die grüne Linie markiert die 20 °C-Isotherme („Raumtemperatur“).

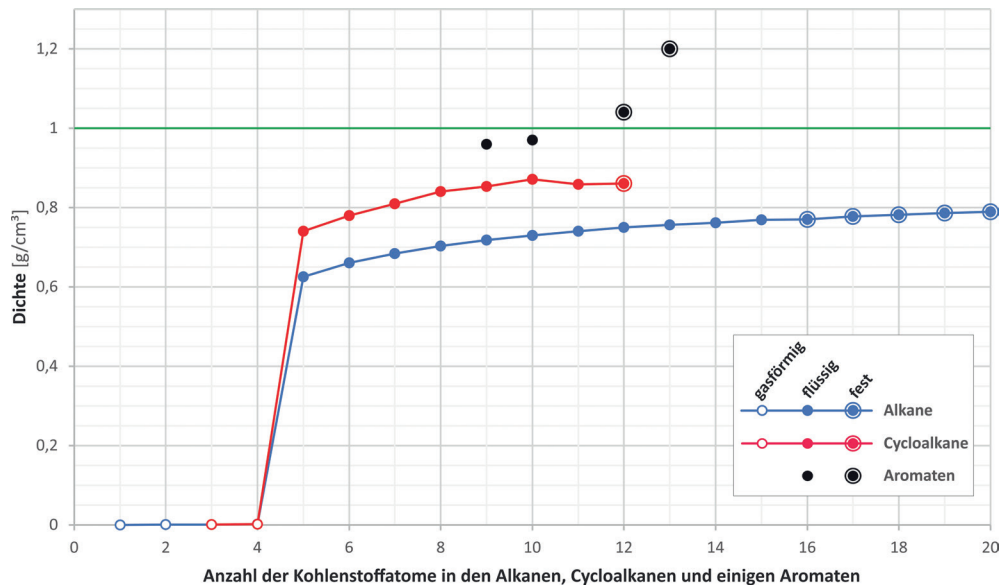


Abb. 2-5: Dichten einiger Kohlenwasserstoffe unter Laborbedingungen ($p = 1 \text{ bar}$, $T = 20 \text{ °C}$). Die grüne Linie markiert die Dichte reinen Wassers (1 g/cm^3).

deutlich unter der Dichte von Wasser, die unter Laborbedingungen bei 1 g/cm^3 liegt. Für die Cycloalkane sieht die Dichtekurve ähnlich aus. Die kleinsten Cycloalkane Cyclopropan (3) und Cyclobutan (4) sind bei Raumtemperatur ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) gasförmig mit entsprechend geringen Dichten. Ab Cyclopentan (5) bis Cycloundekan (11) sind sie flüssig, darüber hinaus fest. Auch bei den Cycloalkanen steigen die Dichten mit zunehmender Komplexität der Ringstrukturen kontinuierlich an, wobei die Dichten der Cycloalkane stets über denen der entsprechenden n-Alkane, aber noch immer deutlich unter der Dichte von Wasser liegen. Die Dichte von Wasser wird nur von der Dichte einiger Aromaten übertroffen (Abb. 2-5). Die meisten Komponenten des Erdöls haben somit Dichten, die unter der des Wassers liegen. Im Allgemeinen liegen die Dichten handelsüblicher Erdöle zwischen $0,82\text{--}0,94 \text{ g/cm}^3$. In einem Erdöl-Wasser-Gemisch wird sich Erdöl also infolge seiner schlechten Löslichkeit in Wasser vom Wasser trennen und aufgrund seiner geringeren Dichte an der Wasseroberfläche konzentrieren.

Erdöl wird i. Allg. aus Tiefen von wenigen hundert Metern bis zu einigen Kilometern gefördert. Die Temperaturen in der Erdöllagerstätte können z. T. weit über $100 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen und der hydrostatische Druck (wird auch mit Formationsdruck bezeichnet) mehrere 100 bar betragen. Höhere Temperaturen als Raumtemperatur führen dazu, dass unter Raumtemperatur flüssige Kohlenwasserstoffe gasförmig werden und feste Kohlenwasserstoffe flüssig. Zunehmender Druck wirkt diesem Prozess teilweise entgegen. Die Förderbarkeit des Erdöls hängt also wesentlich von seiner Zusammensetzung sowie der Temperatur und dem Formationsdruck in der Lagerstätte ab.

Die Farbe von Erdöl geht von nahezu transparent über hellgelb, gelb, braun, grüngrau bis schwarz (Abb. 2-6), die Viskosität von dünnflüssig bis extrem zähflüssig und fest. Weitgehend



Abb. 2-6: Erdöl aus der Bohrung Steig 1 auf Weingartener Gemarkung.

transparent sind die sog. Gaskondensate, die infolge Temperaturabfalls und Druckreduzierung bei der Förderung von einem gasförmigen in einen flüssigen Zustand übergehen. Man spricht von sog. „Weißem Erdöl“. Die Qualität eines Erdöls wird über seine Zusammensetzung und die daraus resultierenden Eigenschaften definiert. Neben der Dichte und der Viskosität ist der Schwefelgehalt der Gradmesser für die Qualität des Erdöls. Ein hoher Schwefelgehalt ist ungünstig, da er bei der Erdölraffination in Schwefelwasserstoff (H_2S) umgewandelt werden kann. Schwefelwasserstoff ist giftig und stark korrosiv. Niedrigviskose, gut fließfähige, leichte Erdöle mit einem geringen Schwefelgehalt („*light sweet crude oil*“) sind am hochwertigsten, Schweröle mit einem hohen Schwefelgehalt („*heavy sour crude oil*“) sind weniger begehrt (vgl. auch Kap. 9.4.3).