

Verfahren zur Herstellung von Synthesegas

Von Dr.-Ing. W. Gumz VDI und Dr.-Ing. R. Lessnig VDI, Essen

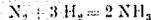
(Verein für die bergbaulichen Interessen, Essen)

Durch die synthetische Erzeugung von Ammoniak, von Methylalkohol und von Treibstoffen und Ölen ist die Gastechnik vor große Aufgaben gestellt worden. Die Wirtschaftlichkeit der großtechnischen Synthesen steht und fällt mit der Höhe des Preises für das gebrauchsfertige, gereinigte Synthesegas. In technischer Beziehung werden Gasemngen und Gasdurchsätze für den einzelnen Gaserzeuger gefordert, die weit über das früher gebräuchliche Maß hinausgehen; dabei ist neben höchsten Güteansprüchen und höchster Wirtschaftlichkeit auch ein Höchstmaß an Betriebssicherheit notwendig. Was die Brennstoffversorgung betrifft, so muß auf eine möglichst weitgehende Verbreiterung der Brennstoffbasis hingearbeitet werden, da der Bedarf für Synthesezwecke immerhin einen beträchtlichen Zuwachs des Verbrauchs an hochwertigen Brennstoffen ergibt. Der Bergbau, der auch viele andere lebenswichtige Industriezweige versorgen muß, ist weitgehend an die vorhandenen Betriebsanlagen und die einsatzfähigen Arbeitskräfte sowie an den natürlichen Arten- und Sortenanfall der Kohle gebunden. Überschlägig benötigen die verschiedenen Synthesen in Deutschland für Stickstoff, Wasserstoff bzw. Kohlenoxyd-Wasserstoff-Gemische und für reinen Wasserstoff etwa 15 Milliarden m³ Wassergas im Werte von etwa 250 Millionen RM; um die vorhandenen und in Betrieb befindlichen Anlagen zu versorgen, was einem Verbrauch von 7½ Millionen t Hochtemperaturkoks entspricht, wenn man diesen Brennstoff allein zugrunde legen wollte. Jede, auch nur geringe Verbilligung der Wasserstoffquelle wird sich daher wirtschaftlich in starkem Maße auswirken, und es ist verständlich, daß nach einer Zeit längeren Stillstandes in der Gaserzeugungstechnik heute wieder eine rege Entwicklungsarbeit zur Verbesserung der bekannten und zur Schaffung neuer Vergasungsverfahren eingesetzt hat.

Anforderungen an Synthesegas

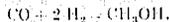
Alle Synthesen verlangen mit Rücksicht auf die Gasbehandlung (Gebläse, Verdichter, Leitung, Kontaktmassen) ein völlig staubfreies Gas, welches der gewünschten Zusammensetzung entspricht, welches frei ist von schädigenden Nebenbestandteilen und welches inerte Bestandteile in möglichst geringen Mengen enthält, da diese die Apparaturen unnötig belasten, also den Kapitalaufwand beeinflussen oder sich im Prozeß anreichern und nur mit entsprechenden Wasserstoffverlusten entfernt werden können, also den Betrieb und seine Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen.

Die Ammoniaksynthese erfordert gemäß der Reaktion



ein Wasserstoff-Stickstoff-Verhältnis $\text{H}_2:\text{N}_2 = 3$. Kohlenoxyd und Schwefelwasserstoff müssen vollständig entfernt werden, da sie als Kontaktgifte wirken. Methan und höhere Kohlenwasserstoffe stören den Ablauf des Verfahrens nicht, sind aber unerwünscht. Als Brennstoffgrundlage der vorhandenen Anlagen dient vorzugsweise Koks- und Wassergas sowie Koks- und Wassergas.

Die Methanolsynthese geht von einem Synthesegas mit einem Wasserstoff-Kohlenoxyd-Verhältnis $\text{H}_2:\text{CO} = 2$ aus gemäß der Hauptreaktion



Schwefelwasserstoff wirkt auch hier als Kontaktgift und muß entfernt werden. Kohlenwasserstoffe und Stickstoff sind inerte Bestandteile, die zur Vermeidung von Anreicherungen so gering wie möglich gehalten werden sollten.

Die Fischer-Tropsch-Synthese erzeugt ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen, das auf Paraffin, Benzin, Dieselöl und Schmieröl oder durch Cracken der schweren Kohlenwasserstoffe ausschließlich auf Benzin weiterverarbeitet wird. Auch sie geht von einem Wasserstoff-Kohlenoxyd-Gemisch $\text{H}_2:\text{CO} = 2$ aus und verlangt eine Reinigung von Schwefelwasserstoff und organischem Schwefel. Sowohl H_2S als auch der organische Schwefel sollen den Betrag von 2 mg/Nm³ nicht überschreiten. Auch soll das Gas frei von Harzen und Harzbildnern sein. Die Kohlensäure schadet zwar dem Prozeß nichts, wenn möglich, und wenn es sich als wirtschaftlich erweist, soll sie jedoch zur Entlastung der Kontaktstoffe ausgewaschen werden. Stickstoff und Kohlenwasserstoffe sind inert und darum praktisch möglichst gering zu halten.

Die Hochdruckhydrierung benötigt neben den zu hydrierenden Rohstoffen, wie Kohle, Teer oder Roh-

reinen Wasserstoff. Stickstoff, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffe sind unerwünschte Bestandteile. Das CO , z. B. verwandelt sich unter Wasserstoffverbrauch in CH_4 . Die Kontakte und Apparatebauteile sind bei dem I. G. Verfahren schwefelfest, insofern stellt die Hydrierung die geringsten Anforderungen an die Freiheit des Wasserstoffs an Schwefelverbindungen. Um jedoch den N_2 -Gehalt, z. B. bei den in Wechselbetrieb arbeitenden üblichen Wassergas-erzeugern, gering zu halten, ist eine unbedingte Fernhaltung der Blasegase notwendig, so daß man aus der Gasperiode nur den Teil herauscheiden kann, der praktisch ein Minimum an Stickstoff enthält (Nullgas). Es sind dies etwa 75% der Erzeugung, während der Rest modern Verwendungszwecken zugeführt werden muß. Die stetig arbeitenden Verfahren der Vergasung mit Sauerstoff gewinnen daher besonders für diesen Zweck an Bedeutung.

Synthesegas aus festen Brennstoffen

Die Beschaffung der großen Wassermengen erfolgt bei den natürlichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen Deutschlands auf der Grundlage der Kohle. Hierfür kommen sowohl die Rohkohle als vor allem auch der Koks sowie Koksfasgas als Ausgangsstoff in Frage. Der erste Schritt in der Herstellung des gewünschten Synthesegases ist die Erzeugung von Wassergas, soweit es nicht gelingt, ein synthesesfertiges Gas von der gewünschten Zusammensetzung in einem Zuge zu erzeugen. Für die Verarbeitung fester Brennstoffe stehen folgende Wege offen:

1. Die Wassergaserzeugung aus Koks oder Schmelzkoks im Wechselbetrieb.
2. Die Wassergas- bzw. Doppeltgaserzeugung aus Kohle im Wechselbetrieb.
3. Die kontinuierliche Vergasung von Kohle mit Sauerstoff und Wasserdampf.
4. Die kontinuierliche Vergasung mit Außenbeheizung.
5. Die kontinuierliche Vergasung mit Wälzgasbeheizung.

Diese Verfahren unterscheiden sich, abgesehen von ihrer z. T. eingegrenzten Brennstoffgrundlage, hauptsächlich durch die Art der Wärmeerzeugung und der Wärmezufuhr zur Deckung des Wärmebedarfs der endothermen Wassergasreaktion. Entsprechend arbeiten die einzelnen Verfahren auch mit einem ganz verschiedenen Temperaturverlauf, nämlich teils wie der Wechselbetrieb und die Wälzgasverfahren mit starken Temperaturschwankungen und hohen Temperaturspitzen, teils wie die Verfahren mit Innenverheizung oder Außenbeheizung, mit ausgeglichener, meist in gewünschter Weise lenkbarem Temperaturverlauf.

Wassergasherstellung aus Koks und Schmelzkoks im Wechselbetrieb

Die normale Wassergasherstellung aus Koks besitzt den Vorteil, daß es sich um ein altes, jahrzehntelang erprobtes Vergasungsverfahren und um einen gleichmäßig grobkörnigen, für diesen Zweck sehr geeigneten Brennstoff handelt. Die Mehrzahl der bestehenden Anlagen für die Ammoniak-, Methanol- und Treibstoffsynthesen arbeitet daher nach diesem Verfahren, soweit Steinkohle die Grundlage bildet. In technischer Beziehung sind die Anlagen besonders durch die Mechanisierung der Brennstoffaufgabe, der Aschenaustragung und der Umsteuerung vervollkommen worden. Die Betriebssicherheit ist teils durch die Ausschaltung der Möglichkeit von Bedienungsfehlern, teils durch konstruktive Verbesserung der einzelnen Bauelemente und durch zentrale Betriebsüberwachungseinrichtungen erhöht worden. Die Wirtschaftlichkeit ist durch Nachverbrennung der Blasegase und die Ausnutzung der Wärme in Abhitzeesseln sowie durch eine Verminderung der Strahlungsverluste durch Wassermittel gesteigert worden. Wenn auch diese Maßnahmen z. T. lang bekannt sind, so sind sie doch bisher noch nicht so planmäßig ausgenutzt worden, wie es wünschenswert erscheint. Sicherlich ist die Erzeugung von Überschuldampf eine Möglichkeit zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Zweckmäßiger ist jedoch eine Beschränkung auf die beim Vergasungsprozeß notwendige Dampfmenge und eine möglichst weitgehende Vorwärmung der Vergasungsmittel. Die Vorwärmung der Luft beim Blasen zur Beschleunigung der Aufheizung und zur Verkürzung der Blasedauer und die Überhitzung des Wasserdampfes beim Gasen hat bisher wenig Anwendung gefunden. Die Wärmebeanspruchung des Rostes setzt hier allerdings Grenzen, doch könnte man immerhin Temperaturen von 450 bis 550° anwenden.

Neuzeitliche Wassergasanlagen arbeiten beispielsweise mit einer Blaseperiode von 1 min, und das erzeugte Blasegas wird in der Zündkammer verbrannt, um dann in einem Rauchrohrkessel Dampf von 18 bis 22 atü zu erzeugen. Dieser Dampf wird in einer Gegendruckturbine zum Antrieb der Gebläse und Pumpen verwendet und dient nach der Entspannung auf rd. 2 atü gemeinsam mit dem im Dampfmittel erzeugten Dampf von etwa 3 bis 3,5 atü als Einblasedampf beim Gasen. Die Gasperiode dauert 2 min, davon wird 1 min von unten und 1 min von oben gegast (backrun). Die Gesamtperiode dauert also 3 min, entsprechend 20 Zügen in der Stunde. Die Leistung beträgt bei 4,8 bis 5,4 t/h Durchsatz an Hüttenkoks in der Körnung Nuß 1/11 bis zu 8000 bis 9000 Nm³/h Wassergas, das sind bei 3,5 m-Schnechtdurchmesser 500 bis 500 kg/m²h Koksduresatz und 832 bis 935 Nm³/m²h Gas erzeugung. Die Dampferzeugung im Mantel und Abhitzeessel beträgt etwa 1 kg/Nm³ Wassergas, womit der Bedarf des Gaserzeugers (0,9 kg/Nm³ Wassergas) reichlich gedeckt werden kann. Die Brennstoffaufgabe erfolgt während des Abwärtsgasens, so daß dadurch die Vorstaubung vermindert und eine schnelle Vergasung des Staubes gewährleistet wird.

Zahlentafel 1
Wärmewirtschaft des Wassergas-Prozesses

Brennstoffe	Wirkungsgrad, bezogen auf das Wassergas	Wirkungsgrad mit Einschluß d. Abhitze-dampferzeugung	Quelle
Hochtemperaturkoks	58,1 %	77,5 %	Müller-Urnj, Technologie der Brennstoffe, Wien 1939
	65,5 %	75,0 %	P. Dolch, Wassergas, Leipzig 1930
Gasflammkohle	59,4 %	65,0 %	W. Schroth, Gas- u. Wasserfach Bd. 73 (1930) Sonderheft

Zahlentafel 2. Kosten des Synthesegases für eine Anlage bestehend aus fünf Einheiten zur Vergasung von 165 t/24 h Hochtemperaturkoks

	Blauwassergas	Konvertgas (Teilkonvertierung von etwa 25% des Wassergases)	Synthesegas (Druckwasserwäsche des Konvertergases)
Leistung Nm ³ /24 h	750 000	815 000	740 000
Gasbeschaffenheit			
CO ₂ %	6,0	13,8	1,8*
CO %	39,0	27,5	30,4
H ₂ %	51,0	55,0	60,8
CH ₄ + N ₂ %	4,0	3,7	4,0
Gaspreis Rpfl./Nm ³	1,309	1,252	1,517
Gaspreis, bezogen auf Idealgas (CO + H ₂) Rpfl./Nm ³			1,063

* Die CO₂-Auswaschung läßt sich, wenn, wie im Falle der Wasserstoffherstellung für die Hydrierung notwendig, auch viel weiter treiben.

Die Wirtschaftlichkeit von Wassergasanlagen ergibt sich aus Zahlentafel 1.

Trotz der niedrigen Wirkungsgrade konnte sich der normale Wassergasgenerator einstweilen gut behaupten, hauptsächlich deshalb, weil die neuen Verfahren erst in der Entwicklung bzw. in der großtechnischen Erprobung begriffen sind, zumal sie vielfach ihre Entstehung jetzt erst auftretenden Bedürfnissen nach erhöhter Leistung und verbreiteter Brennstoffgrundlage verdanken. Zum Teil bieten die neuen Verfahren gegenüber den betriebs-erprobten auch nur einen geringen wirtschaftlichen Anreiz. Einen teilweise auf Schätzung beruhenden Überblick über die Kosten verschiedener Verfahren gibt W. Schultes¹⁾. Für Koks-wassergas ergeben sich nach Angaben einer ausführenden Firma die in Zahlentafel 2 angegebenen Gaspreise. Das Synthesegas werde dabei aus Hochtemperaturkoks hergestellt, indem man zunächst normales Wassergas (Blauwassergas) erzeugt, etwa 25% davon mit Wasserdampf konvertiert (Konvertgas) und die Kohlensäure des Konvertergases in einer Druckwasserwäsche entfernt bzw. verringert. Dabei ist mit einem Kokspreis von 17,50 RM/t und mit 15,5% Kapitalkosten und Instandhaltung gerechnet.

Werden zur Erzeugung der gleichen Synthesegasmenge nur 330 t/24 h Koks vorgast und hierzu noch 195 000 Nm³/24 h Koks-fengas beim Abwärtsgasen im Brennstoff-bott aufgespalten, so erhält man einen Synthesegaspreis von 1,26 Rpfl./Nm³ bei 87% CO + H₂ (die Gasqualität ist dabei stark vom Stickstoffgehalt des Koks-fengases abhängig) oder von 1,46 Rpfl./Nm³ CO + H₂.

Schmelzkoks hat sich neben Hochtemperaturkoks als sehr geeigneter Vergasungsrohstoff erwiesen. Der Vorteil liegt in der Gewinnung des Schmelzkokes in der vorgeschalteten Schwolanlage, in der Einbeziehung aller schwerwichtigen Brennstoffe in das Brennstoffprogramm und in der guten Reaktionsfähigkeit, die sich in einer Verringerung der Blasegase von z. B. 1,65 Nm³/Nm³ Wassergas bei Hochtemperaturkoks auf 1,37 Nm³/Nm³ Wassergas bei Schmelzkoks äußert²⁾, sowie dem noch beträchtlichen Gasgehalt (10%) des Schmelzkokes und infolgedessen einem günstigeren CO:H₂-Verhältnis (1,45 bis 1,65 bei Schmelzkoks gegenüber 1,25 bei Hochtemperaturkoks). Darin liegt allerdings insofern auch ein gewisser Nachteil, als ein Teil des verfügbaren Wasserstoffgehaltes natürlich auch

¹⁾ W. Schultes, Glückauf Bd. 12 (1936) S. 273/85.

²⁾ Nach O. Wöhe, Techn. Mitt. Krupp Bd. 5 (1937) S. 44/49.

in das Blasegas geht und der Wassergaserzeugung nicht zugesetzt kommt. Dieser Anteil kann jedoch als höchstens proportional der Periodendauer angenommen werden, da die Aufwärmung des sehr dinstückigen Schwelkokes (der eine Wärmeleitzahl von nur 0,12 bis 0,14 kcal/m² C besitzt¹⁾ sehr lange Zeit benötigt. Voraussetzung ist ein grobkörniger, fester Schwelkoks von hoher Druck- und Abriebfestigkeit, wobei allerdings die Werte des Hochtemperaturkokes nicht ganz erreicht werden, so daß mit etwas höheren Staubverlusten gerechnet werden muß.

Bei den kontinuierlichen Verfahren liegen die Verhältnisse insofern günstiger, als die erwähnten Wasserstoffverluste nicht auftreten und z. T. auch geringere Anforderungen an die Körnung und Stückfestigkeit des Brennstoffes gestellt werden.

Wassergaserzeugung im Wechselbetrieb aus Kohle

Die Vergasung von Kohle stellt schon eine schwierige Aufgabe dar, und wenn sie auch mit einzelnen Kohlenarten in kleinen Generatoren gelöst ist, so können diese Erfahrungen doch nicht ohne weiteres auf große Einheiten übertragen werden. Für eine hohe Durchsatzleistung und für einen störungsfreien Betrieb muß gefordert werden, daß die Körnung grob und möglichst gleichmäßig, daß der Gehalt an Feinen gering ist, da er zu einer Verlegung des Lückenvolumens und nicht nur zur Erhöhung des Zehlwiderstandes, sondern auch zu Unregelmäßigkeiten, wie Verstopfungen und Kraterbildung führt. Ferner darf die Kohle nicht backen und treiben, um die Durchlässigkeit des Bettes und eine genügende Reaktionsoberfläche zu erhalten und Brückenbildungen, Druck auf die Generatorwänden und Hängenbleiben der Gichtung zu vermeiden. Endlich muß die Stückfestigkeit und die Abriebfestigkeit hoch und die Feuerstärke ausreichend sein, damit der Brennstoff bei der Vergasung nicht zerfällt. Die Brennstoffasche soll einen möglichst hohen Schmelzpunkt aufweisen, um Verschlackungen beim Heißblasen zu vermeiden. Diesen vielfältigen Forderungen können in gewissem Maße die Anthrazite und Magerkohlen, die Gasflamkohlen und die Braunkohlenbriketts genügen, obwohl die gleiche Betriebssicherheit wie bei der Koksvergasung dabei nicht immer gewährleistet ist. Zum Teil ist zur Beseitigung störender Backeigenschaften eine thermische oder oxydative Vorbehandlung der Kohlen oder eine Beimischung von Koks, Braunkohle, Briketts oder Schlacke zur Herabsetzung der Backfähigkeit der Steinkohlen notwendig.

Der übliche Verfahrensgang, wie er beim Doppelgas-generator angewendet wird, ist der, daß die Kohle durch das gebildete Gas einer Spülgaswäsche mit oder ohne Außenbeheizung der aufgesetzten oder eingehängten Schwelorte unterworfen wird. Dabei geht, in noch stärkerem Maße als dies bei der Schwelkoksvergasung der Fall ist, unvermeidlich ein beträchtlicher Anteil der flüchtigen Bestandteile der Kohle in das Blasegas über²⁾. Alle wärmewirtschaftlichen Maßnahmen, vor allem auch die von *Schroth* befürwortete hohe Vorwärmung und Überhitzung der Vergasungsmittel, sind daher für die Ausbautesteigerung besonders wichtig.

Der heiligen Vergrößerung der Einheiten sind mit Rücksicht auf eine sichere Beforschung der physikalischen Beschaffenheit des Brennstoffbettes und der Gleichmäßigkeit und Wirksamkeit der Spülgaswäsche enge Grenzen gesetzt. Auch wird man dabei eine gewisse Stecharbeit nicht ganz vermeiden können, was jedoch als eine sehr unliebsame Betriebsschwierigkeit angesehen werden muß.

¹⁾ H. Fiedl. und H. Dieckl., Feuerungstechn. Bd. 27 (1939) S. 129/30.

²⁾ H. Schöth, Gas u. Wasserfach Bd. 73 (1930), Sonderheft S. 107 bis 108 Nr. 2428, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 2681, 2682, 2683, 2684, 2685, 2686, 2687, 2688, 2689, 2690, 2691, 2692, 2693, 2694, 2695, 2696, 2697, 2698, 2699, 2700, 2701, 2702, 2703, 2704, 2705, 2706, 2707, 2708, 2709, 2710, 2711, 2712, 2713, 2714, 2715, 2716, 2717, 2718, 2719, 2720, 2721, 2722, 2723, 2724, 2725, 2726, 2727, 2728, 2729, 2730, 2731, 2732, 2733, 2734, 2735, 2736, 2737, 2738, 2739, 2740, 2741, 2742, 2743, 2744, 2745, 2746, 2747, 2748, 2749, 2750, 2751, 2752, 2753, 2754, 2755, 2756, 2757, 2758, 2759, 2760, 2761, 2762, 2763, 2764, 2765, 2766, 2767, 2768, 2769, 2770, 2771, 2772, 2773, 2774, 2775, 2776, 2777, 2778, 2779, 2780, 2781, 2782, 2783, 2784, 2785, 2786, 2787, 2788, 2789, 2790, 2791, 2792, 2793, 2794, 2795, 2796, 2797, 2798, 2799, 2800, 2801, 2802, 2803, 2804, 2805, 2806, 2807, 2808, 2809, 2810, 2811, 2812, 2813, 2814, 2815, 2816, 2817, 2818, 2819, 2820, 2821, 2822, 2823, 2824, 2825, 2826, 2827, 2828, 2829, 2830, 2831, 2832, 2833, 2834, 2835, 2836, 2837, 2838, 2839, 2840, 2841, 2842, 2843, 2844, 2845, 2846, 2847, 2848, 2849, 2850, 2851, 2852, 2853, 2854, 2855, 2856, 2857, 2858, 2859, 2860, 2861, 2862, 2863, 2864, 2865, 2866, 2867, 2868, 2869, 2870, 2871, 2872, 2873, 2874, 2875, 2876, 2877, 2878, 2879, 2880, 2881, 2882, 2883, 2884, 2885, 2886, 2887, 2888, 2889, 2890, 2891, 2892, 2893, 2894, 2895, 2896, 2897, 2898, 2899, 2900, 2901, 2902, 2903, 2904, 2905, 2906, 2907, 2908, 2909, 2910, 2911, 2912, 2913, 2914, 2915, 2916, 2917, 2918, 2919, 2920, 2921, 2922, 2923, 2924, 2925, 2926, 2927, 2928, 2929, 2930, 2931, 2932, 2933, 2934, 2935, 2936, 2937, 2938, 2939, 2940, 2941, 2942, 2943, 2944, 2945, 2946, 2947, 2948, 2949, 2950, 2951, 2952, 2953, 2954, 2955, 2956, 2957, 2958, 2959, 2960, 2961, 2962, 2963, 2964, 2965, 2966, 2967, 2968, 2969, 2970, 2971, 2972, 2973, 2974, 2975, 2976, 2977, 2978, 2979, 2980, 2981, 2982, 2983, 2984, 2985, 2986, 2987, 2988, 2989, 2990, 2991, 2992, 2993, 2994, 2995, 2996, 2997, 2998, 2999, 3000, 3001, 3002, 3003, 3004, 3005, 3006, 3007, 3008, 3009, 3010, 3011, 3012, 3013, 3014, 3015, 3016, 3017, 3018, 3019, 3020, 3021, 3022, 3023, 3024, 3025, 3026, 3027, 3028, 3029, 3030, 3031, 3032, 3033, 3034, 3035, 3036, 3037, 3038, 3039, 3040, 3041, 3042, 3043, 3044, 3045, 3046, 3047, 3048, 3049, 3050, 3051, 3052, 3053, 3054, 3055, 3056, 3057, 3058, 3059, 3060, 3061, 3062, 3063, 3064, 3065, 3066, 3067, 3068, 3069, 3070, 3071, 3072, 3073, 3074, 3075, 3076, 3077, 3078, 3079, 3080, 3081, 3082, 3083, 3084, 3085, 3086, 3087, 3088, 3089, 3090, 3091, 3092, 3093, 3094, 3095, 3096, 3097, 3098, 3099, 3100, 3101, 3102, 3103, 3104, 3105, 3106, 3107, 3108, 3109, 3110, 3111, 3112, 3113, 3114, 3115, 3116, 3117, 3118, 3119, 3120, 3121, 3122, 3123, 3124, 3125, 3126, 3127, 3128, 3129, 3130, 3131, 3132, 3133, 3134, 3135, 3136, 3137, 3138, 3139, 3140, 3141, 3142, 3143, 3144, 3145, 3146, 3147, 3148, 3149, 3150, 3151, 3152, 3153, 3154, 3155, 3156, 3157, 3158, 3159, 3160, 3161, 3162, 3163, 3164, 3165, 3166, 3167, 3168, 3169, 3170, 3171, 3172, 3173, 3174, 3175, 3176, 3177, 3178, 3179, 3180, 3181, 3182, 3183, 3184, 3185, 3186, 3187, 3188, 3189, 3190, 3191, 3192, 3193, 3194, 3195, 3196, 3197, 3198, 3199, 3200, 3201, 3202, 3203, 3204, 3205, 3206, 3207, 3208, 3209, 3210, 3211, 3212, 3213, 3214, 3215, 3216, 3217, 3218, 3219, 3220, 3221, 3222, 3223, 3224, 3225, 3226, 3227, 3228, 3229, 3230, 3231, 3232, 3233, 3234, 3235, 3236, 3237, 3238, 3239, 3240, 3241, 3242, 3243, 3244, 3245, 3246, 3247, 3248, 3249, 3250, 3251, 3252, 3253, 3254, 3255, 3256, 3257, 3258, 3259, 3260, 3261, 3262, 3263, 3264, 3265, 3266, 3267, 3268, 3269, 3270, 3271, 3272, 3273, 3274, 3275, 3276, 3277, 3278, 3279, 3280, 3281, 3282, 3283, 3284, 3285, 3286, 3287, 3288, 3289, 3290, 3291, 3292, 3293, 3294, 3295, 3296, 3297, 3298, 3299, 3300, 3301, 3302, 3303, 3304, 3305, 3306, 3307, 3308, 3309, 3310, 3311, 3312, 3313, 3314, 3315, 3316, 3317, 3318, 3319, 3320, 3321, 3322, 3323, 3324, 3325, 3326, 3327, 3328, 3329, 3330, 3331, 3332, 3333, 3334, 3335, 3336, 3337, 3338, 3339, 3340, 3341, 3342, 3343, 3344, 3345, 3346, 3347, 3348, 3349, 3350, 3351, 3352, 3353, 3354, 3355, 3356, 3357, 3358, 3359, 3360, 3361, 3362, 3363, 3364, 3365, 3366, 3367, 3368, 3369, 3370, 3371, 3372, 3373, 3374, 3375, 3376, 3377, 3378, 3379, 3380, 3381, 3382, 3383, 3384, 3385, 3386, 3387, 3388, 3389, 3390, 3391, 3392, 3393, 3394, 3395, 3396, 3397, 3398, 3399, 3400, 3401, 3402, 3403, 3404, 3405, 3406, 3407, 3408, 3409, 3410, 3411, 3412, 3413, 3414, 3415, 3416, 3417, 3418, 3419, 3420, 3421, 3422, 3423, 3424, 3425, 3426, 3427, 3428, 3429, 3430, 3431, 3432, 3433, 3434, 3435, 3436, 3437, 3438, 3439, 3440, 3441, 3442, 3443, 3444, 3445, 3446, 3447, 3448, 3449, 3450, 3451, 3452, 3453, 3454, 3455, 3456, 3457, 3458, 3459, 3460, 3461, 3462, 3463, 3464, 3465, 3466, 3467, 3468, 3469, 3470, 3471, 3472, 3473, 3474, 3475, 3476, 3477, 3478, 3479, 3480, 3481, 3482, 3483, 3484, 3485, 3486, 3487, 3488, 3489, 3490, 3491, 3492, 3493, 3494, 3495, 3496, 3497, 3498, 3499, 3500, 3501, 3502, 3503, 3504, 3505, 3506, 3507, 3508, 3509, 3510, 3511, 3512, 3513, 3514, 3515, 3516, 3517, 3518, 3519, 3520, 3521, 3522, 3523, 3524, 3525, 3526, 3527, 3528, 3529, 3530, 3531, 3532, 3533, 3534, 3535, 3536, 3537, 3538, 3539, 3540, 3541, 3542, 3543, 3544, 3545, 3546, 3547, 3548, 3549, 3550, 3551, 3552, 3553, 3554, 3555, 3556, 3557, 3558, 3559, 3560, 3561, 3562, 3563, 3564, 3565, 3566, 3567, 3568, 3569, 3570, 3571, 3572, 3573, 3574, 3575, 3576, 3577, 3578, 3579, 3580, 3581, 3582, 3583, 3584, 3585, 3586, 3587, 3588, 3589, 3590, 3591, 3592, 3593, 3594, 3595, 3596, 3597, 3598, 3599, 3600, 3601, 3602, 3603, 3604, 3605, 3606, 3607, 3608, 3609, 3610, 3611, 3612, 3613, 3614, 3615, 3616, 3617, 3618, 3619, 3620, 3621, 3622, 3623, 3624, 3625, 3626, 3627, 3628, 3629, 3630, 3631, 3632, 3633, 3634, 3635, 3636, 3637, 3638, 3639, 3640, 3641, 3642, 3643, 3644, 3645, 3646, 3647, 3648, 3649, 3650, 3651, 3652, 3653, 3654, 3655, 3656, 3657, 3658, 3659, 3660, 3661, 3662, 3663, 3664, 3665, 3666, 3667, 3668, 3669, 3670, 3671, 3672, 3673, 3674, 3675, 3676, 3677, 3678, 3679, 3680, 3681, 3682, 3683, 3684, 3685, 3686, 3687, 3688, 3689, 3690, 3691, 3692, 3693, 3694, 3695, 3696, 3697, 3698, 3699, 3700, 3701, 3702, 3703, 3704, 3705, 3706, 3707, 3708, 3709, 3710, 3711, 3712, 3713, 3714, 3715, 3716, 3717, 3718, 3719, 3720, 3721, 3722, 3723, 3724, 3725, 3726, 3727, 3728, 3729, 3730, 3731, 3732, 3733, 3734, 3735, 3736, 3737, 3738, 3739, 3740, 3741, 3742, 3743, 3744, 3745, 3746, 3747, 3748, 3749, 3750, 3751, 3752, 3753, 3754, 3755, 3756, 3757, 3758, 3759, 3760, 3761, 3762, 3763, 3764, 3765, 3766, 3767, 3768, 3769, 3770, 3771, 3772, 3773, 3774, 3775, 3776, 3777, 3778, 3779, 3780, 3781, 3782, 3783, 3784, 3785, 3786, 3787, 3788, 3789, 3790, 3791, 3792, 3793, 3794, 3795, 3796, 3797, 3798, 3799, 3800, 3801, 3802, 3803, 3804, 3805, 3806, 3807, 3808, 3809, 3810, 3811, 3812, 3813, 3814, 3815, 3816, 3817, 3818, 3819, 3820, 3821, 3822, 3823, 3824, 3825, 3826, 3827, 3828, 3829, 3830, 3831, 3832, 3833, 3834, 3835, 3836, 3837, 3838, 3839, 3840, 3841, 3842, 3843, 3844, 3845, 3846, 3847, 3848, 3849, 3850, 3851, 3852, 3853, 3854, 3855, 3856, 3857, 3858, 3859, 3860, 3861, 3862, 3863, 3864, 3865, 3866, 3867, 3868, 3869, 3870, 3871, 3872, 3873, 3874, 3875, 3876, 3877, 3878, 3879, 3880, 3881, 3882, 3883, 3884, 3885, 3886, 3887, 3888, 3889, 3890, 3891, 3892, 3893, 3894, 3895, 3896, 3897, 3898, 3899, 3900, 3901, 3902, 3903, 3904, 3905, 3906, 3907, 3908, 3909, 3910, 3911, 3912, 3913, 3914, 3915, 3916, 3917, 3918, 3919, 3920, 3921, 3922, 3923, 3924, 3925, 3926, 3927, 3928, 3929, 3930, 3931, 3932, 3933, 3934, 3935, 3936, 3937, 3938, 3939, 3940, 3941, 3942, 3943, 3944, 3945, 3946, 3947, 3948, 3949, 3950, 3951, 3952, 3953, 3954, 3955, 3956, 3957, 3958, 3959, 3960, 3961, 3962, 3963, 3964, 3965, 3966, 3967, 3968, 3969, 3970, 3971, 3972, 3973, 3974, 3975, 3976, 3977, 3978, 3979, 3980, 3981, 3982, 3983, 3984, 3985, 3986, 3987, 3988, 3989, 3990, 3991, 3992, 3993, 3994, 3995, 3996, 3997, 3998, 3999, 4000, 4001, 4002, 4003, 4004, 4005, 4006, 4007, 4008, 4009, 4010, 4011, 4012, 4013, 4014, 4015, 4016, 4017, 4018, 4019, 4020, 4021, 4022, 4023, 4024, 4025, 4026, 4027, 4028, 4029, 4030, 4031, 4032, 4033, 4034, 4035, 4036, 4037, 4038, 4039, 4040, 4041, 4042, 4043, 4044, 4045, 4046, 4047, 4048, 4049, 4050, 4051, 4052, 4053, 4054, 4055, 4056, 4057, 4058, 4059, 4060, 4061, 4062, 4063, 4064, 4065, 4066, 4067, 4068, 4069, 4070, 4071, 4072, 4073, 4074, 4075, 4076, 4077, 4078, 4079, 4080, 4081, 4082, 4083, 4084, 4085, 4086, 4087, 4088, 4089, 4090, 4091, 4092, 4093, 4094, 4095, 4096, 4097, 4098, 4099, 4100, 4101, 4102, 4103, 4104, 4105, 4106, 4107, 4108, 4109, 4110, 4111, 4112, 4113, 4114, 4115, 4116, 4117, 4118, 4119, 4120, 4121, 4122, 4123, 4124, 4125, 4126, 4127, 4128, 4129, 4130, 4131, 4132, 4133, 4134, 4135, 4136, 4137, 4138, 4139, 4140, 4141, 4142, 4143, 4144, 4145, 4146, 4147, 4148, 4149, 4150, 4151, 4152, 4153, 4154, 4155, 4156, 4157, 4158, 4159, 4160, 4161, 4162, 4163, 4164, 4165, 4166, 4167, 4168, 4169, 4170, 4171, 4172, 4173, 4174, 4175, 4176, 4177, 4178, 4179, 4180, 4181, 4182, 4183, 4184, 4185, 4186, 4187, 4188, 4189, 4190, 4191, 4192, 4193, 4194, 4195, 4196, 4197, 4198, 4199, 4200, 4201, 4202, 4203, 4204, 4205, 4206, 4207, 4208, 4209, 4210, 4211, 4212, 4213, 4214, 4215, 4216, 4217, 4218, 4219, 4220, 4221, 4222, 4223, 4224, 4225, 4226, 4227, 4228, 4229, 4230, 4231, 4232, 4233, 4234, 4235, 4236, 4237, 4238, 4239, 4240, 4241, 4242, 4243, 4244, 4245, 4246, 4247, 4248, 4249, 4250, 4251, 4252, 4253, 4254, 4255, 4256, 4257, 4258, 4259, 4260, 4261, 4262, 4263, 4264, 4265, 4266, 4267, 4268, 4269, 4270, 4271, 4272, 4273, 4274, 4275, 4276, 4277, 4278, 4279, 4280, 4281, 4282, 4283, 4284, 4285, 42

Die gleichzeitige Zugabe von Sauerstoff und Wasserdampf zum Brennstoff verbindet die Teilverbrennung und die Wassergasbildung in einem Zuge, wobei es sowohl möglich ist, durch das Sauerstoff-Wasserdampf-Verhältnis die Temperaturen unter 1000° zu halten, also „trocken“ zu arbeiten, als auch die Temperaturen so hoch zu bringen, daß die Asche in schmelzflüssigem Zustand abgestochen werden kann (Abstiegsgenerator). Im ersten Falle können vorzugsweise Kohlen mit hohem Aschenschmelzpunkt, im zweiten Falle zur Vermeidung eines Einfrierens Kohlen mit niedrigem Aschenschmelzpunkt in Betracht.

Als Beispiel eines Abstiegsgenerators ist auf das Thyssen-Gältesy-Verfahren hinzuweisen, bei welchem die Vergasung im Schacht mit Sauerstoff unter Zugabe von Wasserdampf und Koksofengas bzw. Restgas aus der Fischer-Synthese oder eigens erzeugtem Gas vorgenommen wird. Das Gas wird mit Sauerstoff verbrannt und der Wasserdampf dabei sehr hoch überhitzt, so daß er sofort reaktionsfähig ist. Im Versuchsbetrieb ist dieses Verfahren erfolgreich für eine Reihe von Brennstoffen wie Gasflammförderkohle, Gasförderkohle, gewaschene Magerkohle Nuß 5, stückige Rohbraunkohle und Industriebriketts erprobt worden. Bei einem Generatorschacht-durchmesser von 300 mm betrug der Kohlendrehsatz $2\frac{1}{2}$ t/h.

Von der Vergasung mit Sauerstoff hat man trotz zahlreicher Erörterungen und einiger Versuchsarbeiten bisher in großen nur wenig Gebrauch gemacht, doch dürfte die Entwicklung in dieser Richtung in absehbarer Zeit erneut in Fluß kommen, da die Wirtschaftlichkeit als erwiesen angesehen ist, nachdem durch das Linde-Fränk-Verfahren im Großbetrieb eine Sauerstoffherstellung zu Preisen von etwa $1,5$ Rpfg./Nm³ (98% O₂) möglich geworden ist.

Eine industrielle Anwendung hat die Sauerstoffvergasung fester stückiger Brennstoffe bei der Lurgi-Druckvergasung gefunden, die für die Stadt- und Ferngasherstellung aus Rohbraunkohle angewendet wird. Der Gaszerzeuger ist als Druckgefäß ausgebildet (bisher bis 20 atü erprobt) und besitzt einen von außen unter Abdichtung mit einer Stoffbleche angetriebenen Drehrost, eine Schleuse zur Aufnahme des Brennstoffes, die periodisch vorgenommen wird, sowie eine zweite Schlusenkammer zur Austragung der Asche. Unter dem Rost wird das Sauerstoff-Wasserdampf-Gemisch eingblasen, wobei ein auf 500° überhitzter Fremddampf verwendet wird. Die Gasaustrittstemperatur liegt bei nur 300° . Das Verfahren ist wiederholt im Schrifttum beschrieben worden, so daß darauf verwiesen werden kann¹¹⁾. Sein Vorteil liegt in der hohen Querschnittsbelastung und in der außerordentlich breiten Brennstoffbasis; so war es möglich, getrocknete Rohbraunkohlen, Magerkohlen, schwach backende Kohlen, bei entsprechender Vorbehandlung, Gasflammkohlen, Kleinkoks und Schmelzkoks zu verarbeiten, und zwar selbst in Korngrößen bis herab zu 5 mm. Bei teerhaltigen Brennstoffen wird eine Teerausbeute von etwa 70% der Fischer-Analyse erzielt. Durch den hohen Druck kann das wertvolle Schmelzbenzin ohne Waschl kondensiert werden, auch ist die Verwendung einer Druckwäsche ohne besondere Verdichtung möglich.

Für die Synthesegasherstellung ist zu beachten, daß der Methanengehalt des Gases mit steigendem Druck anwächst. Man wird daher die Drücke nicht zu hoch, sondern etwa in den Grenzen von 5 bis 10 atü halten. Für einen Druck von 8 atü gibt *Dravo* die Zusammensetzung nach Zahlentafel 3 an:

Zahlentafel 3. Synthesegas-Zusammensetzung vor und nach der CO₂-Auswäscherung

Bestandteil	vor der CO ₂ -Auswäscherung	nach der CO ₂ -Auswäscherung
CO ₂	29,3%	4,0%
CO	21,9%	30,7%
H ₂	44,0%	61,6%
CH ₄	3,3%	4,6%
N ₂	1,5%	2,1%

Besonders bei der Mitteldruck-synthese wäre die Druckvergasung von Vorteil, da nicht nur die CO₂-Auswäscherung, sondern auch die Synthese ohne weitere Verdichtung durchgeführt werden kann.

Besonders aussichtsreich ist die Sauerstoffvergasung bei der unmittelbaren Vergasung von Kohlenstaub, da das Brennstoffprogramm hier am leichtesten seine größte Ausweitung erfährt. Die Staubvergasung in der Schwebel arbeitet im Gleichstrom, in dem das Vergasungsmittel zugleich als Trägergas für den Staub verwendet wird. Damit entfallen alle jene Störungsquellen, die ihren Ursprung in Schwierigkeiten im Brennstoffbett nehmen, seien sie nun auf das Backen, auf Treiben, auf Brückenbildung, auf ungleichen Abbrand oder auf Verschlacken zurückzuführen¹²⁾.

Als ein Nachteil könnte die hohe Gasaustrittstemperatur angesehen werden, doch läßt sich die Abwärme sowohl zur Dampferzeugung, Speisewasservorwärmung und zur Überhitzung des Dampfes, aber auch zur Vortrocknung, Entgasung und Aufwärmung des Brennstoffes weitgehend ausnützen. Infolge der stetigen Arbeitsweise und der hohen Gastemperatur in der Größenordnung von 1000° ist auch das Wärmeangebot an den Abblitzkessel ein hohes und gleichmäßiges, in andern Falle dagegen läßt sich eine sehr hohe Vorwärmung des Vergasungsmittels und eine entsprechende Leistungssteigerung erzielen.

Als ein Übergang vom Gaszerzeuger mit ruhender Schicht zur Staubvergasung ist der Winkler-Generator anzusehen¹³⁾. Die vorgelochene Kohle wird auf bzw. über dem Rost durch das Vergasungsmittel zum Teil durch Zublase von Gas in dauernder Bewegung gehalten, man arbeitet also an der Stabilitätsgrenze der Schüttung. Unvermeidlich wird dabei das Unterkorn in den Gasraum gerissen und dort in der Schwebel vergast, soweit die Aufenthaltsdauer des Staubes im Gasraum dies zuläßt. Man arbeitet daher vorzugsweise mit Brennstoffkörnchen über 5 mm und hält den Gehalt an Feinem um so niedriger, je höher die gewünschte spezifische Leistung ist. Für die Nachvergasung im Schacht wird oberhalb der Schicht noch Vergasungsmittel durch einen Kranz von Einblasedüsen zugegeben. Der Vorteil des Winkler-Generators liegt in der hohen Relativgeschwindigkeit, die für die größeren Brennstoffteilchen erzielt wird, und in der hohen Durchsatzleistung, die für Rohbraunkohle, bezogen auf den Schachtquerschnitt zu 3750 Nm³/m² und h Gaszerzeugung angegeben wird. Auch das Brennstoffprogramm ist insofern stark erweitert, als selbst mahlige Brennstoffe, wie Rohbraunkohle, ferner Schmelzkoks, nicht oder schwach backende Steinkohle u. a. vergasbar sind. *H. Grimm*¹⁴⁾ berichtet, daß auch backende Kohlen mit Erfolg vergast worden seien. Allerdings läßt das Vorhandensein einer Brennstoffschicht (wenn sie sich auch in wirbelloser Bewegung befindet) befürchten, daß doch eine starke Agglomerierung der Teilchen und Verschlackungsschwierigkeiten bei nicht sorgfältigster Betriebsüberwachung auftreten kann.

¹¹⁾ *R. Dravo*, Gas- u. Wasserfach Bd. 80 (1937) S. 809/10, Arch. Wärmeleitsh. Bd. 19 (1938) S. 201/03; *H. Schalles*, Glückauf Bd. 72 (1936) S. 273/85; *O. Habmann*, Z. komp. u. flüss. Gase Bd. 31 (1934) S. 21/26, 33/35; *F. Danulat*, Die restlose Vergasung fester Brennstoffe mit Sauerstoff unter hohem Druck, Diss. Berlin 1936.

¹²⁾ *H. Gumz*, Feuerungstechn. Bl. 27 (1939) S. 257/59.

¹³⁾ *C. Bosch*, Chem. Fabr. Bd. 7 (1933) S. 110; *F. Döhr*, Wasser- u. Lufttech. Bd. 27 (1939) S. 106.

¹⁴⁾ *H. Grimm*, Proc. Int. Intern. Conf. on Bituminous Coal, Pittsburgh 1931, Bd. 1, S. 876/81.

Als Nachteil ist die geringe Wirkungsgröße des Winkler-Generators zu erwähnen. Die hohe Gas-temperatur läßt sich nur durch einen Abhitzekeßel bei richtiger Auslegung und bei guter Reinhaltung der Heizfläche und im übrigen durch ein ständiges Maßsenken. Um so mehr muß aber auf die Augenmerk auf die nötigen Vorkehrungen, besonders im Anfrüß, geachtet werden. Die ursprünglichen Anstaltungsformen nehmen offensichtlich wenig Rücksicht auf die Arbeitsweise als Staubvergaser, so daß durch eine richtige Bemessung der Gaswege und durch andere für die Staubvergaser vorgeschlagene Maßnahmen für eine möglichst vollkommene Ausgasung oder für eine anderweitige Verwertung der mitgerissenen Teilchen gesorgt werden muß.

Für die Vergasung feuchter Kohlen hat Winkler allerdings einen Gaszeuger entwickelt, der im oberen Teil einen aus Schamotte aufgebauten Schrägrost enthält, auf welchem die Kohle mit Hilfe des Gases vorgetrocknet und erwärmt wird, so daß man in gewissen Fällen auf einen Abhitzekeßel verzichten kann.

Reine Staubvergaser sind bisher nur in der Ausführungsform der Schmalfeldt-Wintershall-Synthesegas-erzeugung, auf die wir im Rahmen der Besprechung der Wälzgasverfahren zurückkommen werden, in der Technik der Synthesegasherstellung eingeführt. Theoretische Überlegungen über die Vergasungszeit, die hauptsächlich von den physikalischen und aerodynamischen Bedingungen abhängig ist¹⁵⁾, zeigen indessen, daß ein Erfolg nur gewährleistet sein kann, wenn folgende verfahrensmäßige Gesichtspunkte beachtet und verwirklicht werden:

1. Ausreichende Weglänge, die der Vergasungszeit der verwendeten Korngröße angepaßt sein muß,
2. Rückführung nicht ausgegaster Teilchen (Vorschlag von *Székla-Rozinek*)¹⁶⁾ oder Hintereinanderschaltung mehrerer geschlossener Brennstoffkreisläufe¹⁷⁾,
3. Schaffung hoher Relativgeschwindigkeit zwischen Brennstoff und Vergasungsmittel durch gleichzeitiges Einblasen beider mit hoher Geschwindigkeit¹⁸⁾,
4. Aufrechterhaltung hoher Vergasungsmittelkonzentration (im Gegensatz zu den Wälzgasverfahren) und durch Verwendung eines Überschusses an Vergasungsmitteln, besonders von Wasserdampf.

Kontinuierliche Vergasung mit Außenbeheizung

Die Wassergaserzeugung in Verbindung mit der Entgasung der Kohle, der sog. „unasse“ Betrieb bei der Erzeugung von normgerechtem Stadtgas, gekennzeichnet durch eine Wasserdampfeinführung in den Entgasungsraum, kann als ein Vorläufer der Vergasung mit Außenbeheizung angesehen werden. Die Wärmezufuhr von außen hat den Vorteil einer guten Regelbarkeit und einer gleichmäßigen, nach oben hin zu begrenzenden Temperatur, so daß Schwierigkeiten durch Verschlackungen nicht auftreten, und weder auf die Höhe des Aschengehaltes der zu vergasenden Kohle noch auf den Aschenschmelzpunkt Rücksicht genommen werden muß. Die Wärmezufuhr zu der Kohlen- bzw. Koksschicht ist jedoch beschränkt durch die geringe Wärmeleitfähigkeit von Schüttungen, bei denen die Konvektion und die Leitfähigkeit der das Lückenvolumen erfüllenden Gase die Hauptrolle spielt, der gegenüber die Eigenschaften des festen Körpers in den Hintergrund treten. Aus diesem Grunde können nur begrenzte Kammerbreiten in Frage, falls man eine ausreichende Wärmezufuhr und hohe Durchsatzleistung erzielen will. Bei den Verfahren Büding-Dähler¹⁹⁾ werden schmale senkrechte Kammern verwendet,

bei denen die Vergasung nur so weit getrieben wird, daß der restliche, unten abgezogene Koks zur Erzeugung des zur Beheizung notwendigen Gases ausreicht. Versuche mit zahlreichen deutschen Kohlsorten, so z. B. Gaslammenkohlen der Ruhr, der Saar und aus Oberschlesien, sowie mit Braunkohlenbriketts und Lignit haben die einwandfreie Durchführbarkeit des Verfahrens erwiesen. Dabei könnten Korngrößen bis herab zu 5 mm verarbeitet werden. Eine durch mehrere Veröffentlichungen bekanntgewordene Synthesegasanlage dieser Bauart ist im Ammoniakwerk Péfürdő (Ungarn) errichtet worden, in welcher Lignit aus Várpalota, nach dem Fleisner-Verfahren getrocknet, vergast wird²⁰⁾. Für großtechnische Syntheseanlagen ergibt sich für außenbeheizte Gaszeuger ein erheblicher Kapitalaufwand, dagegen liegen die Brennstoffkosten günstig, so daß sich nach der Ermittlung von *Schilles* (vgl. Fußann. 1) ein sehr günstiger Gaspreis errechnet. Der Bau größerer Einheiten läßt sich nur durch Aneinanderrichtung einer entsprechend großen Zahl von Einzelkammern ermöglichen, so daß der Vergleich mit der Innenbeheizung (Sauerstoffvergasung) nun so ungünstiger ausfällt, je größer die betrachteten Leistungen sind.

Die Außenbeheizung, angewendet auf die Staubvergaser, wie sie von *Heller* in seinem Rundzellengenerator vorgeschlagen worden ist²¹⁾, bietet keinen wirtschaftlichen Anreiz, weil die mittelbare Beheizung des Staubes zu einer teuren und wärmewirtschaftlich ungünstigen Bauweise führt, bei welcher irgendwelche Vorteile gegenüber der unmittelbaren Staubvergaserung nicht zu erkennen sind, mit Ausnahme des Wegfalls des Sauerstoffbedarfs.

Wälzgasverfahren

Das Verfahren von Pintsch-Hillebrand zur Durchführung des kontinuierlichen Wassergasprozesses benutzt die Aufheizung mit einem Wälzgasstrom, der nacheinander den ringförmig ausgebildeten Generator und den Schwel-schacht durchströmt, wobei er sich auf etwa 100° abkühlt. In einem Regenerativwärmespeicher, der räumlich unterhalb des Generators angeordnet ist, wird die Wiederaufheizung auf etwa 1300° durch Teilverbrennung von Gas bewirkt²²⁾.

Von den Wälzgasverfahren, die mit stückigen Brennstoffen arbeiten, gilt allgemein, daß die Regeneratoren hohe Ansprüche an das feuerfeste Mauerwerk stellen, da eine Vorwärmung des Wälzgas bis auf Temperaturen von 1300° getrieben werden muß, und daß die großen Gas-mengen bei nicht abriebfesten Brennstoffen zu einer starken Staubeentwicklung Anlaß geben können.

Bei dem Verfahren von *Koppers*²³⁾ wird dem mit Spülgas arbeitenden Gaszeuger eine so große Koksmenge entnommen, daß sie nach Vergasung in einem Drost-Heizgaszeuger die notwendige Wärme für die Aufheizung der Regeneratoren zur Wiederbeheizung des Wälzgasstromes zu liefern vermag. Mit Rücksicht auf das Verhalten des entnommenen Kokes in anschließenden Gaszeuger können nur solche stückigen Brennstoffe in Betracht kommen, die bei der vorangehenden Spülgas-schwelung und Teilvergaserung noch einen festen, zur weiteren Behandlung im Schwelgenerator geeigneten Koks liefern. Hier liegen ohne Zweifel alle Möglichkeiten

²⁰⁾ *Szilgell*, Die Herstellung von synthetischem Ammoniak aus Lignit der Grube Várpalota, Budapest 1935; vgl. u. *P. Dolch*, Wassergas, Leipzig 1936, S. 105/07, Abb. 11; *A. Thau*, Brennstoff-Chemie Bd. 16 (1935) S. 61.

²¹⁾ *A. Thau*, Braunkohle Bd. 30 (1931) S. 673/94, insbesondere S. 671.

²²⁾ *Fr. Stief*, Gas- und Wasserfach Bd. 75 (1932) S. 581/86.

K. Gerdes, Braunkohle Bd. 31 (1933) S. 103/07 u. 216/19.

H. Müller, Gas- u. Wasserfach Bd. 73 (1935) S. 131/36.

P. Dolch, Wassergas, Leipzig 1936, S. 220 u. ff.

G. Koppers, Chem. Fabr. Bd. 12 (1933) S. 457/62.

Fr. Stief, Gas- und Wasserfach Bd. 83 (1940) S. 1/6.

²³⁾ *F. Martin*, Öl u. Kohle Bd. 13 (1937) S. 693/97; *A. Thau*, Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 129/38, insbesondere S. 132.

¹⁵⁾ *H. Guntz*, Feuerungslehre, Bd. 26 (1938) S. 361/70 und Bericht an den Reichskohlenrat D 80, ferner *H. Guntz*, Theorie u. Berechnung der Kohlenstoffumformung, Berlin 1939.

¹⁶⁾ *Székla u. A. Rozinek*, Feuerungslehre, Bd. 26 (1938) S. 97/102.

¹⁷⁾ Verfahren ist unter Aktenz. G. 97 661 zum Patent angemeldet.

¹⁸⁾ Verfahren ist unter Aktenz. G. 100 823 zum Patent angemeldet.

¹⁹⁾ *H. Almer*, Gas- u. Wasserfach Bd. 78 (1935) S. 338; *A. Thau*, Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 129/38, insbesondere S. 133/2.

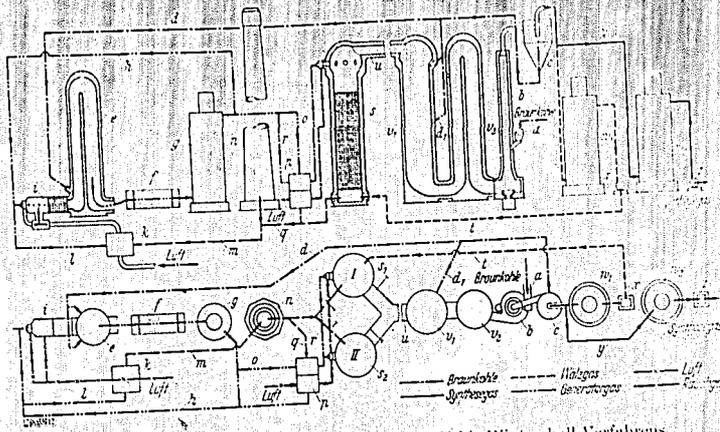


Bild 1 und 2. Arbeitsweise des Schmalfeldt-Wintershall-Verfahrens zur Wälzgasstaubvergasung

a Aufgabevorrichtung	i Brennkammer	s ₁ , s ₂ Regeneratoren
b Flugrockner	k Lufterhitzer	l Leitung
c Zyklon	l Leitung	u Rohrverbindung
d Leitung mit	m Fuchs	v ₁ , v ₂ Vergaser
Abzweig d ₁	n Schornstein	w ₁ , w ₂ Washer
e Staubvergäser	o Leitung	x Gebläse
f Abhitzebecken	p Erhitzer	y Leitung
g Washer	q Fuchs	z Gebläse
h Leitung	r Leitung	

für eine Verbindung der Vergasung stückiger Brennstoffe mit der Staubvergasung.

Als Sonderfall der Wälzgasstaubvergasung ist schließlich noch das Schmalfeldt-Wintershall-Verfahren zu nennen, das bereits in einigen Großanlagen praktische Anwendung gefunden hat. Die Kohle wird zunächst mit Hilfe des fertigen Synthesegases in der Schwebe getrocknet, und ein Teil des Synthesegases, welches mit den Schwaden der Trocknungsanlage beladen ist, dient im Synthesegaserzeuger als Träger und Wälzgas für den Staub. Die Verbindung der Vergasung mit der Flugtrocknung sorgt für eine gute Wärmeausnutzung und eine hohe Wirtschaftlichkeit.

Die Durchführung des Verfahrens sei an Hand der schematischen Darstellung in Bild 1 und 2 erläutert.

Die mit Rücksicht auf die Förder- und Beschiebungseinrichtungen auf 8 bis 10 mm Korngröße vorzerkleinerte feuchte Kohle wird durch eine mechanische Aufgabevorrichtung *a* in den Flugrockner *b* eingeführt und hier durch das von unten nach oben strömende heiße Synthesegas getrocknet. Die schnelle Erwärmung und plötzliche Verdampfung des in der Kohle enthaltenen Wassers sprengt das Korn und sorgt so für eine weitgehende Zerkleinerung. Der in dem Zyklon *c* ausgeschiedene Staub wird durch die Leitung *d* dem Staubvergäser *e* zugeführt, und das in ihm mit Luft erzeugte Schwachgas, das seine fühlbare Wärme an den Abhitzebecken *f* abgibt, wird in dem Washer *g* gereinigt und gekühlt und von dort den verschiedenen Verwendungsstellen zugeleitet. Es dient hauptsächlich, nachdem es durch die Leitung *h* den Erhitzer *p* durchlaufen hat, dazu, die nach Art der Hochofenwindvorhitzer erbauten Regeneratoren *s*₁ und *s*₂ aufzuheizen. Ein Teil des Schwachgases kann durch die Leitung *k* zur Brennkammer *i* des Generators geführt werden, um durch Vorverbreitung eines Teiles der Luft die notwendigen hohen Temperaturen zu erzeugen. Die Luft kann überdies durch den gasbeheizten Lufterhitzer *k* vorgewärmt werden. Die Abgase wie auch die Abgase der Regeneratoren werden durch den Fuchs *m* bzw. *q* zu dem Schornstein *n* geführt. In dem in dem Schaubild dargestellten Betriebszustand wird der Regenerator *s*₂ gerade aufheizt, indem in der Kuppel das durch die Leitung *r* zugeführte Gas verbrannt und nach unten abgezogen wird. Die Umstellung erfolgt selbst-

lich, im Abstand von etwa 10 bis 15 min. Dem auf dem letzten Regenerator *s*₁ von unten durch die Leitung *l* einströmende wasserhaltige „Synthesegas“ wird im Wälzgas zugeführt, welches durch das Heißgitterwerk *h* erhitzt und durch die ausgemauerte Rohrverbindung *u* oben in den Vergaser *v*₁ eintritt. Der vorgetrocknete Kohlenstaub wird durch den Abzweig *d*₁ ebenfalls dem Vergaser *v*₁ an mehreren Stellen zugeführt und wird nun von dem Wälzgasstrom durch die Vergaser *v*₁ und *v*₂ hindurchgetragen und dabei vergast. Das fertige Synthesegas verläßt den Vergaser *v*₂ unten und tritt in den Schwebetrockner *b* ein, dessen Unterteil zyklonartig ausgebildet ist, um Flugasche aus dem Gas auszuscheiden. Nachdem das staubbeladene Gas den Zyklon *c* durchströmt hat, wird der Teil, der als Wälzgas dient, durch den Washer *w*₁, dessen Temperatur hoch genug gehalten wird, um das Gas mit Wasserdampf anzureichern, durch das Gebläse *x* in den Gaskreislauf zurückgedrückt. Der zweite Teil-

strom tritt durch die Leitung *y* in den Washer *w*₂ und wird durch das Gebläse *z* als fertiges Synthesegas der Entscheidung und anschließend der Verwendungsstelle zugeführt.

Auf die Unterschiede gegenüber der reinen Staubvergasung (ohne Wälzgas) wurde bereits früher hingewiesen. Einzelheiten über das wirtschaftliche Ergebnis sind bisher nicht veröffentlicht worden, doch ist durch die großindustrielle Anwendung des Verfahrens auf die Vergasung von Braunkohle erwiesen, daß die Staubvergasung einwandfrei durchführbar ist.

Synthesegasherstellung aus Koksöfengas

Neben den festen Brennstoffen, bei denen das Ausgangsprodukt für die Synthesen erst auf dem Umwege über die Vergasung gewonnen werden muß, bildet das Koksöfengas eine billige und dank seines hohen Wasserstoffgehaltes sehr geeignete Wasserstoffquelle. Besonders solange Koksöfengas im Überschuß vorhanden ist oder von solchen Verwendungszwecken freigemacht werden kann, die durch Schwachgas (Koksöfenbeheizung) oder feste minderwertige Brennstoffe (Kesselfeuerung) ersetzt werden können, ist die Wasserstoffgewinnung und Synthesegasherstellung auf dieser Grundlage vom Standpunkt des Rohstoffeinsatzes und der Wirtschaftlichkeit unbedingt empfehlenswert. Naturgas steht uns in Deutschland nicht in nennenswerten Mengen zur Verfügung, so daß es hier außer Betracht bleiben kann; die Verarbeitungsverfahren sind im übrigen technisch die gleichen wie beim Koksöfengas.

Das Koksöfengas kann folgendermaßen verarbeitet werden:

1. durch Tiefkühlung
2. durch thermische Methanspaltung
3. durch katalytische Methanspaltung
4. durch Zerlegung in Schichten fester Brennstoffe

Koksgaserzeugung durch Tiefkühlung

Bei dem unter dem Namen „Concorde-Linde-Brennverfahren“ bekannten Verfahren wird Koksöfengas durch stufenweise Tiefkühlung unter Druck zerlegt, wobei ein

für die Ammoniak- und Schwefelwasserstoff-
 Stützgas, meist oder Wasserstoff allein gewonnen wer-
 den kann. Das Verfahren benutzt wie bei der Luft-
 Verflüssigung nach *Linde* üblich den Thomson-Joule-
 Effekt und macht sich die Tatsache zunutze, daß die
 Hauptbestandteile des Koksofengases in drei Gruppen
 zerlegt werden können, die sich durch ihre Siedepunkte
 stark unterscheiden und zwar:

1. die Kohlenwasserstoffe mit zwei oder mehreren Kohlen-
 atomen, die sich unter Atmosphärendruck bei etwa
 103° und darüber verflüssigen,
2. die übrigen Gase außer Wasserstoff, also CH_4 , CO , N_2
 und O_2 , die zwischen -161 und -196 flüssig werden,
 und
3. der Wasserstoff, der mit -252,7° in weitem Abstand
 folgt.

Das Verfahren arbeitet mit einer Vorkühlung mit Hilfe
 einer Ammoniakkältemaschine. Am übrigen ist die wirt-
 schaftliche Bestgestaltung vor allem davon abhängig, daß
 die Kälte durch Gegenstromwärmenustauscher so voll-
 ständig wie möglich ausgenutzt wird. Bezüglich der
 Einzelheiten des Verfahrens und der apparativen Aus-
 gestaltung sei auf das Schrifttum verwiesen²¹⁾.

Das Verfahren von *G. Claude* (Air Liquide S. A., Paris)
 verwendet ebenso wie das Claude-Luftverflüssigungs-
 verfahren eine Expansionsmaschine zur Kälteerzeugung.
 übrigen geht es die gleichen Wege wie die vorgenannte
 Methode. Ferner wäre noch auf das Verfahren von
 Messer & Co., Frankfurt a. M., hinzuweisen.

Thermische Spaltung von Koksofengas

Die thermische Spaltung von Gas wird seit längerer
 Zeit bereits für die Naturgasanarbeitung und für die
 Rußherstellung benutzt (Nitrogen Engg. Corp., Thermo-
 nic Carbon Co.), bei der Koksofengasspaltung wird jedoch
 eine Verminderung der Rußausscheidung angestrebt.

Das Verfahren der Koksofengasspaltung nach Koppers,
 Essen, benutzt zwei cowperähnliche mit Gitterwerk aus
 Sondersteinen gefüllte Schichten, in denen das mit Wasser-
 dampf gemischte Koksofengas auf eine Temperatur von
 etwa 1300° aufgeheizt wird. Für die Beheizung dient
 Schwaechgas, Restgas oder ein sonstiger vorzugsweise gas-
 förmiger Brennstoff, der in einem Brennschicht verbrannt
 wird. Aufheizung und Methanspaltung wechseln demnach
 periodisch ab, derart, daß die zur Methanspaltung not-
 wendige Temperatur immer aufrechterhalten wird. Das
 Spaltgas gelangt über einen Washkühler in die Syntheseg-
 asleitung, nachdem es zunächst den größten Teil seines
 Wärmeinhalts an einen Regenerator abgegeben hat. Das
 Verfahren hat sich in längerer Betriebsdauer auf einem
 Leuchtstoffwerk im großtechnischen Maßstab sehr gut be-
 währt. Die Anlage ist in der Lage, stündlich etwa
 10000 Nm³ Koksofengas zu spalten. Der spez. Dampf-
 verbrauch beträgt bei einem mittleren Methanzersetzungs-
 grad von 92 bis 95% etwa 0,75 kg/Nm³ Koksofengas.
 Der spez. Wärmebedarf für die Spaltung von 1 Nm³
 Koksofengas ist etwa 970 bis 980 kcal. Zwei weitere
 Anlagen nach diesem Verfahren sind gegenwärtig in
 Japan in Bau.

Thermisch-katalytische Spaltung von Koksofengas

Verfahren zur katalytischen Behandlung von Koks-
 ofengas mit Wasserdampf unter Wärmeabfuhr zur Spal-
 tung des Methans und der höheren Kohlenwasserstoffe
 und der nachfolgende Konvertierung des Kohlenoxids zu
 Wasserstoff und Kohlensäure sind etwa gleichzeitig von
H. Claude und seinen Mitarbeitern²²⁾ und von der I. G.

Farb-Industrie²³⁾ entwickelt worden. Die Gesellschaft
 für Kohlenteknik verwendet einen außenbeheizten Spalt-
 ofen aus NiCr_2 -Material, der das Gas-Wasserdampf-
 Gemisch auf 900 bis 1000° aufheizt, und dem Luft-äquiv-
 alentschiedenen Stellen zugesetzt wird. Als Kontaktmasse für
 die Methanspaltung werden Nickelkontakte auf Schamotte
 als Trägermaterial verwendet, während für die CO -Um-
 setzung Dolomit vorgeschlagen wurde.

Das ähnlich arbeitende Verfahren der I. G. Farben-
 industrie verwendet Nickel-Katalysatoren mit aktivieren-
 den Zusätzen (nach *Mittsch* und *Schneider*). Die Appa-
 ratur²⁴⁾ besteht aus Chromnickelstahlrohren, in denen die
 Kontaktmasse in einem Ringraum aufgeschichtet ist. Das
 beheizende Gas streicht von außen mit hoher Geschwindig-
 keit an den Rohren vorbei und geht anschließend durch
 einen Luftvorwärmer, um die Wärmeausnutzung und die
 Temperaturhöhe zu steigern. Das Gas-Wasserdampf-
 Gemisch tritt durch das zentrale Rohr oben ein, wobei es
 sich vorwärmt, und durchströmt dann den Kontakt-
 raum von unten nach oben. Die Schwefelverbindungen werden
 vorher möglichst weitgehend entfernt. Das Verfahren hat
 bereits vielseitige Anwendung gefunden, auch für die Ver-
 arbeitung von Erdgas, Raffinerieabgasen (Standard Oil
 Comp. of New Jersey und Louisiana) und Abgasen von
 Hydrieranlagen (I. C. J. Billingham).

Von der Bannag, Berlin, als ausführende Firma wurden
 Gasspaltanlagen mit beheizten Kontaktrohren für mehrere
 Großanlagen geliefert bzw. befinden sich noch in Bau,
 davon eine in Abadan (Iran), zwei in Bari und Livorno
 (Italien), eine in Polen und mehrere in Deutschland.

Koksofengaserlegung im Schachtofen

Die Methanzerlegung im Wassergasgenerator durch
 einfaches Einleiten in den Schacht lutte wegen der zu
 niedrigen Temperaturen bisher zu keinem befriedigenden
 Erfolg geführt. Die Zerlegung ließ sich kaum auf 70%
 steigern, auch waren Rußabscheidungen und andere
 Störungen unvermeidbar.

Durch das von *Gilbey* und *Koller* gemeinsam mit den
 Thyssenschen Gas- und Wasserwerken, Hamburg, ent-
 wickelte Verfahren, welches mit Sauerstoff und Wasser-
 dampf unter Mitverwendung von Koksofengas oder Rest-
 gas aus der Benzinsynthese arbeitet, ist diese Aufgabe im
 Versuchsbetrieb gelöst worden (s. a. S. 38). Bei Ver-
 wendung einer Gasflammkohle mit 9% Teergehalt, wovon
 bei der Vergasung 6% als Urteeer gewonnen werden können,
 ergab sich bei gleichzeitiger Konvertierung im mittleren
 Teil des Gaserzeugers, in den zu diesem Zweck weitere
 Wasserdampf- und Sauerstoffmengen zugeführt werden,
 ein Gas von folgender Zusammensetzung:

	Ursprüngliche Gaszusammen- setzung	Gaszusammen- setzung nach C ₂ -Auswaschung
CO ₂	30,1	0,00
C ₂ H ₄	0,3	0,43
O ₂	0,3	28,90
CO	20,2	56,94
H ₂	39,8	5,58
CH ₄	3,9	7,72
N ₂	5,4	
	100,0	100,00

Der Brennstoffverbrauch betrug hierbei 75,1 kg/h, der
 Sauerstoffverbrauch 58,6 Nm³/h, der Koksgasverbrauch
 32,0 Nm³/h und der Dampfverbrauch 131,3 kg/h. Die
 Reingaserzeugung belief sich auf 148 Nm³/h.

Das Verfahren kann u. U. mit einer Eisengewinnung
 verknüpft werden, indem man den Hochofenprozeß mit
 Sauerstoffzuführung mit der Synthesegaserzeugung ver-

²¹⁾ *P. Borchardt*, Gaszerlegung durch Druck und Tieftemperatur.
 Gesamthandb. d. Weltkraftkonferenz, Berlin 1930, Bd. 11, S. 431/44
 und Gas- und Wasserfach Bd. 70 (1927) S. 602/608; *R. Heinze*, Die
 Verwertung gasförmiger Brennstoffe, Leipzig 1931.

²²⁾ *H. Claude, H. Keller, H. Klotz, R. Hestelmann* u. Mitarbeiter,
 Entwicklung und technische Durchführung eines neuen Verfahrens
 zur Gewinnung von Wasserstoff und Wasserstoffkohlenoxydgemischen,
 Berichte der Ges. f. Kohlenteknik, III. Bd., 3. Heft, 1930.

²³⁾ *H. Schiller*, Neuere Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff
 und Kohlenwasserstoffen, Chem. Fabr. Bd. 11 (1938) S. 505/508;
 Auszug Z. VDI Bd. 83 (1939) S. 316/17.

²⁴⁾ Vgl. *C. Bosch*, Chem. Fabr. Bd. 7 (1934) S. 1/10, besonders
 Abb. 4.

bindet. Die Beschickung bedarf folglich auch entsprechender sorgfältiger Möllierung unter Verwendung geeigneter Kalkzuschläge, um ein einwandfreies Abstechen der flüssigen Schlacke zu ermöglichen. Als Zuschläge kann man zur Abmagerung des aufgegebenen Brennstoffes auch Schlacke zusetzen, womit die Schwierigkeiten der Aufrechterhaltung eines gleichmäßig durchlässigen Brennstoffbettes vermindert werden.

Spaltung des Koks-ofengases im Zweischahtofen

Bei diesem von E. Karwat und der Gesellschaft für Lindo's Bismaschinen entwickelten Verfahren wird das Methan des Koks-ofengases bei hohen Temperaturen mit Sauerstoff in Kohlenoxyd und Wasserstoff umgewandelt. Das Verfahren wird in einem Zweischahtofen durchgeführt, der aus zwei mit hochwertigem Schamottenmaterial ausgekleideten hohen Schächten besteht, die in ihrem unteren Teil durch einen Querkanal verbunden sind. Die beiden Schächte werden von oben durch Begichtungs- vorrichtungen mit Koks gefüllt, und das methanhaltige Gas tritt wechselweise von oben in den einen Schacht ein und wird durch den anderen Schacht durchgezogen, wobei es von der Koks-füllung erwärmt wird, während diese sich abkühlt. Die Koks-füllung des anderen Schachtes wird in der gleichen Zeit von dem in der Hochtemperaturzone gebildeten heißen, aufwärtsströmenden Wasserstoff-Kohlenoxyd-Gemisch aufgewärmt. In bestimmten Zeit-abständen wird die Richtung der Gasströme in den beiden Schächten durch eine Umschalteneinrichtung umgekehrt. In der Hochtemperaturzone wird dem methanhaltigen Gas Sauerstoff durch besondere Düsen zugeführt und die Temperatur dadurch auf 1300° oder darüber gehalten, so daß einseits der Methanzerfall am glühenden Koks mit genügender Geschwindigkeit vor sich geht, andererseits Wasserdampf oder Kohlen-säure, die als Zwischenprodukte der Reaktion entstanden sind, ausreichend schnell und vollständig in Wasserdampf und Kohlenoxyd übergeführt werden. Da reiner Sauerstoff eine verhältnismäßig kurze Flamme gibt, mischt man zweckmäßig zur Ausdehnung der Flammenzone etwas Wasserdampf bei, der sich am Koks zu Wasserstoff und Kohlenoxyd umsetzt.

Die sich bildende Schlacke wird flüssig abgezogen, wobei man zur Erleichterung des Schlackenabzuges der Möllierung geeignete Zuschläge wie Kalk oder Martinschlacke beigibt. Die Koks-füllung in den Schächten hat also die doppelte Aufgabe, als Wärmespeicher und zugleich als Brennstoff zu dienen. Der etwa in kälteren Zonen abgelagerte, durch Zerfall entstandene Kohlenstoff verschwindet, sobald er in die Vorbrennungszone eintrifft. Die Koks-füllung schützt außerdem die Ofenwände vor dem Angriff oxydierender Gase.

In einer längeren Betriebsperiode konnte nachgewiesen werden, daß die Herstellung von Synthesegas aus Koks-ofengas im Zweischahtofen möglich ist, wobei ein Methan-zerstörungsgrad von 91,0% erreicht wurde. Zur Reinigung des Gases sind die üblichen Maßnahmen ausreichend, sofern noch ein Desintegrator zur Entfernung verdampfter und wiederkondensierter Schlacke in die Synthesegas-leitung eingeschaltet wird.

Sonstige Verfahren

Mit den angegebenen Verfahren sind die Möglichkeiten der Wasserstoff- und Synthesegas-erzeugung noch keineswegs erschöpft, auch können selbstverständlich durch die technische Weiterentwicklung oder durch Änderungen in der Brennstoffbasis Verschiebungen in der Beurteilung des einen oder anderen Verfahrens eintreten.

Als Sonderfall muß noch auf die Wassergaserzeugung im Elektrogaserzeuger hingewiesen werden. Bei der Wassergaserzeugung kann man sich den Kohlenstoffverbrauch aufteilen in „Heizkohlenstoff“, der zur Deckung des Wärmebedarfs der Wassergasreaktion dient, und in den „Reduzierkohlenstoff“, der zur Gasbildung herangezogen wird. Durch die Anwendung einer elektrischen Beheizung, wobei die Generatorfüllung als Widerstand dient, kann der „Heizkohlenstoff“ durch Elektrizität, also durch jeden billigen minderwertigen, auch für die Vergasung ungeeigneten Brennstoff, vor allem aber auch durch Wasserkraft, ersetzt werden. Die Wassergas- und Synthesegasherstellung läßt sich somit kontinuierlich betreiben nach dem Schema



In praktischen Ausführungen²⁸⁾ wird ein Strombedarf von 3,5 bis 4,9 kW/kg Brennstoff angegeben. Durch guten Wärmeschutz und eventuelle Schutzbeheizung ließe sich der Strombedarf bis nahezu an den theoretischen Verbrauch von 2,84 kW/kg Brennstoff herabbringen, zumal die Gastemperatur leicht auf einen konstanten, niedrigen Wert eingeregelt werden kann. Für Länder mit billigem Wasserkraftstrom ist dieses Verfahren, das im übrigen ein sehr reines Gas liefert, besonders geeignet.

Endlich sei der Vollständigkeit halber noch die direkte Wasserstoffgewinnung durch Strom mit Hilfe der Elektrolyse erwähnt²⁹⁾. Der gewonnene Wasserstoff ist zwar sehr rein, die Kosten sind jedoch beim Durchschnittsverbrauch von 6,3 kW/Nm³ Wasserstoff (einschließlich der Verdichtung auf 200 at) so hoch, daß dieses Verfahren im Großbetrieb mit den auf Brennstoffgrundlage arbeitenden Vergasungsmethoden nicht konkurrenzfähig ist. Die Druckelektrolyse bringt auch keine so durchgreifende Verbesserung, daß sie praktisch für den Großbetrieb in Frage käme.

Zusammenfassung

Nach einer Feststellung der Anforderungen der verschiedenen großtechnischen Synthesen an die Beschaffenheit des Synthesegases werden die verschiedenen Möglichkeiten der Synthesegasherstellung kurz gestreift. Neben der Vergasung von Koks, Schmelzkoks und Kohle im Wechselbetrieb in der bisher üblichen Weise werden die verschiedenen stetig arbeitenden Wassergasverfahren behandelt, so die Vergasung mit Sauerstoff und Wasserdampf bei gewöhnlichen und bei höheren Drücken, die Vergasung von Staub, die Verfahren mit Außenbeheizung und die Umwälzverfahren. Die Synthesegasherstellung aus Koks-ofengas durch Tiefkühlung, durch thermische und durch katalytische Spaltung zeigt die große Bedeutung dieser Wasserstoffquelle. Auf neuartige Lösungen zur Methan-spaltung im Schacht nach dem Thyssen-Gilcoesy-Koller-Verfahren und nach dem Vorschlag von Lindo-Karwat im Zweischahtofen wird hingewiesen. Zum Schluß wird die Wasserstoffherstellung mit Hilfe elektrischer Energie kurz gestreift.

Der Stand der Technik hat heute bereits eine solche Höhe erreicht, daß die Anforderungen der chemischen Großindustrie, durchweg erfüllt werden können. Nichtsdestoweniger ist eine Weiterentwicklung besonders solcher Verfahren notwendig, die auf breiterer Brennstoffgrundlage zu arbeiten in der Lage sind. Bl 5939

²⁸⁾ Vgl. J. Holz, Feinertech., Bd. 27 (1939) S. 259/60.

²⁹⁾ H. Arnold, Z. VDI Bd. 83 (1939) S. 907/09 u. 1112.