

**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

# Die Geschichte der Benson-Lizenz

1925 – 2018

Autoren: Eberhard Wittchow und Martin Effert

[siemens.com/benson](https://www.siemens.com/benson)



Dampfkraftwerk Iskenderun – Türkei

Inbetriebsetzung 2003

Installierte Leistung 1.320 MW

## 1. Einleitung

Am 15.08.1925 schließt die Siemens-Schuckertwerke AG (Siemens) mit der „Internationale Benson-Patentverwertungs AG“, an der Siemens und die Benson Super Power Corporation je zur Hälfte beteiligt sind, einen Lizenzvertrag ab. Danach erhält Siemens die ausschließliche Lizenz an den Benson-Patenten mit dem Recht der Erteilung von Unterlizenzen. Mit diesem Vertrag beginnt die Erfolgsgeschichte der Bensonkessel-Lizenz (Benson-Lizenz), der Lizenz mit der längsten Laufzeit im Hause Siemens.

Vor dem Abschluss des Vertrages überzeugt sich Siemens in der englischen Versuchsanlage Rugby von der Realisierbarkeit der Benson'schen Erfindung. Mit Vorverträgen - der erste datiert vom 11.10.1923 - sichert sich Siemens zunächst die Möglichkeit, die Patente von Mark Benson zu nutzen.

Die besondere Leistung von Siemens besteht darin, mit dem Bensonkessel die Hochdrucktechnik in den Kraftwerksbau einzuführen und damit die Grundlage für wirtschaftliche und flexible Anlagen zu schaffen. Die von Siemens aus dem Benson-Patent entwickelte Verfahrenstechnik, die weltweit als Benson-Prinzip bezeichnet wird, hat alle Versuche der Kesselhersteller, eine Alternativlösung dazu zu finden, letztlich scheitern lassen. Heute wenden alle Kesselhersteller für Durchlaufkessel das Benson-Prinzip an. In den bisher über 90 Jahren Benson-Lizenz werden weltweit mehr als 1.360 befeuerte Bensonkessel mit einer

Leistung von insgesamt 417.852 kg/s (1.504.265 t/h) errichtet. Die Laufzeit der aktuellen Benson-Lizenzverträge für fossil befeuerte Bensonkessel reicht zum Teil bis zum Jahr 2030.

Hinzu kommen in Summe mehr als 100 Benson Abhitzeessel, die bis zum Jahr 2018 beauftragt und zum überwiegenden Teil auch schon in Betrieb genommen sind. Die Laufzeit der aktuellen Benson-Lizenzverträge für Abhitze-Bensonkessel reicht bis zum Jahr 2023.

## 2. Mark Benson und sein Patent

Mark Benson wird 1890 in Schluchengau/Sudetenland als unehelicher Sohn eines Habsburgers unter dem Namen Müller - dem Mädchennamen seiner Mutter - geboren. Er studiert Physik und Chemie und befindet sich bei Ausbruch des Ersten Weltkrieges in London. Um der Internierung zu entgehen, nimmt er den Namen Mark Benson an, wandert nach USA aus und erwirbt dort die amerikanische Staatsbürgerschaft.

In den USA ist er in der chemischen Industrie tätig und meldet mehrere Patente an. Durch seine Tätigkeit in der amerikanischen Erdölindustrie wird Mark Benson dazu angeregt, sich mit der Dampferzeugung zu befassen. Bei der Aufbereitung des Erdöls handelt es um endotherme Prozesse, die dafür erforderliche Wärme wird durch Niederdruckdampf mit Temperaturen über 500 °C zugeführt. Mark Benson geht auch für einige Jahre nach England, wo er in Süd-Wales für die anglo-persische

Ölgesellschaft eine neuartige Öl-Aufbereitungsanlage aufzustellen hat.

Die Schäden in den Verdampfern von Wasserrohrkesseln, die Mark Benson auf Verdampfungsvorgänge zurück führt, bringen ihn auf den Gedanken, einen Durchlaufkessel zu entwerfen, bei dem das Wasser direkt in trockenen Dampf übergeht. Dies ist bekanntlich bei dem kritischen Druck von 221 bar und darüber der Fall. Mark Benson geht davon aus, dass sich während des Verdampfungsvorganges Wasser und Dampf scheiden und die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der beiden Phasen zu Störungen führen wie Überhitzungen der Rohrwände, Gleichgewichtsstörungen, Schläge etc.. Dies ist der Grundgedanke seiner Erfindung.

In der Literatur (Quelle unbekannt) existiert noch eine andere Version zu der Erfindung des Mark Benson. Die Öl-Aufbereitungsanlage benötigt Dampf mit einer Temperatur von über 500 °C, der nur mit den damals üblichen Drücken von 7 bis 8,5 atü bereitgestellt werden kann. Dies erfordert sehr teure Kessel. Dadurch wird Mark Benson veranlasst, wirtschaftlichere Wege der Dampferzeugung zu suchen. Deshalb studiert er zunächst die Thermodynamik des Dampfprozesses vom Standpunkt der "Irreversibilität". Nach Meinung Mark Bensons liegt die größte Irreversibilität, abgesehen vom Kondensatorverlust, in der Verdampfungswärme. Davon, so glaubt Mark Benson, rührt der schlechte Wirkungsgrad von 12 % bei den Kraftwerken her. So entschließt er sich, den Dampf bei dem Zustand zu erzeugen, bei dem es keine Verdampfungswärme mehr gibt, also beim kritischen Zustand.

Mark Benson meldet seine Idee zum Patent an, der erste Anspruch seines Patent es lautet:

„Verfahren zur Erzeugung von gebrauchsfertigem Arbeitsdampf von beliebigem Druck aus Arbeitsmitteln [...], dadurch gekennzeichnet, dass in der ersten Stufe, in der das Arbeitsmittel in Dampf überführt wird, der Druck durch besondere druckerzeugende Vorrichtungen, in den folgenden Stufen der Druck durch druckmindernde Vorrichtungen derart geregelt wird, [...] dass in jeder Stufe eine Scheidung von Flüssigkeit und Dampf vermieden wird.“

Eine Patentanmeldung in USA misslingt. Eine Anmeldung in England und Deutschland scheint leichter zum Erfolg zu führen. Das deutsche Reichspatentamt erteilt ihm ab 18.07. 1922 das Patent Nr. 419766 über "Verfahren zur Erzeugung von gebrauchsfertigem Arbeitsdampf von beliebigem Druck".

Um seine Theorie zu beweisen, geht Mark Benson 1921 daran, eine Versuchsanlage zu bauen. Dazu gründet er in London eine kleine Gesellschaft, die Benson Engineering Co., und es gelingt ihm, das Interesse der English Electric & Co. für seine Idee zu erwecken, die in Rugby die erste Versuchsanlage für eine Leistung von 1000 kW zu errichten beginnt.

Während die Versuchsanlage in Rugby im Bau ist, veröffentlicht Mark Benson in der amerikanischen Zeitschrift "Power" durch Philipp Swain die Theorie der Dampferzeugung beim kritischen Zustand mit den zugehörigen Entropie-Diagrammen und gibt eine Beschreibung der Versuchsanlage in Rugby. Eine

Veröffentlichung erfolgt auch in der deutschen VDI-Zeitschrift. Auf Grund dieser Veröffentlichungen erhält die Benson Engineering Co. Anfragen von den Skoda-Werken, von der Société Anonyme John Cockerill in Belgien, von Siemens und anderen Firmen.

Siemens nimmt Kontakt mit Mark Benson auf und schließt am 11.10.1923 mit ihm einen Vertrag ab, der Siemens die Möglichkeit eröffnet, die Benson-Patente zu nutzen (siehe Abschnitt 4). Voraussetzung ist, dass die Anlage Rugby die Erwartungen erfüllt.

Nach Abschluss des Vertrages wird die Anlage Rugby (Dampfleistung 1 kg/s, Verdampferdruck überkritisch, Überhitzeraustrittszustand 103 bar/420 °C) fertig gestellt und geht in die Betreuung von Siemens über. Sie ist aber wenig betriebssicher und fällt wegen Störungen am Druckhalteventil, den Dichtungen und der Speisepumpe öfters aus. Als 1925 alle Versuche zur ersten Erprobung des Verfahrens abgeschlossen sind, wird die Anlage in Rugby stillgelegt und nur noch ganz selten von Siemens Mitarbeitern besucht, bis sie Mitte der 30er Jahre demontiert worden sein soll.

Schon bald wird das ursprüngliche Konzept des Mark Benson verlassen. Ein 1927 gebauter Versuchskessel wird 1929 erstmals mit voll geöffnetem Drosselventil unterkritisch betrieben. Der zweite Bensonkessel im Kabelwerk Berlin wird ab 1930 ohne Druckhalteventil je nach Last mit Drücken zwischen 40 und 180 bar betrieben. Damit entsteht das Prinzip des modernen gleitdruckfähigen Durchlaufkessels, das als Benson-Prinzip in die Kraftwerkstechnik eingegangen ist. Das ursprüngliche Patent wird nicht mehr genutzt, der Name Bensonkessel wird jedoch beibehalten.

Als Mark Benson im Jahre 1922 ein Patent für ein „Verfahren zur Erzeugung von gebrauchsfertigem Arbeitsdampf von beliebigem Druck“ erhält, kann er nicht ahnen, dass mit seinem Namen einmal der meistgebaute Durchlaufkessel der Welt verbunden sein würde. Dies ist deshalb besonders bemerkenswert, da sich seine Erfindung schon wenige Jahre nach ihrer Patenterteilung als wertlos herausgestellt hat.

Nach den Aussagen in den 80er Jahren noch lebender Freunde Benson's ist er ein äußerst intelligenter und menschlich prächtiger Mann, der sich jedoch zeitweilig in einen exzessiven Quartalsäufer verwandeln kann. Auch nach dem 2. Weltkrieg bleibt er mit Siemens in Kontakt und hält bis zu seinem Tode den Kontakt mit seinen deutschen Freunden aufrecht. Er selbst hat inzwischen eine Filmschauspielerin in Hollywood geheiratet und stirbt 1959 nach einem luxuriösen Leben als verarmter Mann, der schließlich auf Sozialhilfe angewiesen ist.

### 3. Siemens und das Patent von Mark Benson

Siemens hat bisher für ihre Abteilung Zentralen (AZ) nur Generatoren und Schaltanlagen selbst hergestellt. Der damalige Vorsitzende des Vorstandes von Siemens, Karl Köttgen, beabsichtigt, zukünftig alle wesentlichen Teile eines Dampfkraftwerkes (Dampfturbinen, Generatoren, Dampferzeuger, Transformatoren, Schaltanlagen, Mess- und Regeltechnik, Baukörper, Energieverteilungsanlagen) in eigenen Werken bauen zu lassen. Es beginnen die

Verhandlungen mit Thyssen über den Kauf der Mülheimer Turbinenfabrik in der Wiesenstraße, die Siemens 1927 für RM 12'000.000,- erwirbt. Dort werden Dampfturbinen für Kraftwerke und Industrieanlagen nach dem System des Prof. Röder gebaut. Charakteristisch hierfür sind zunächst die Überdruckbeschaukelung und der Bau großer Läufer durch mit der Welle verschraubten Radscheiben und hohlen Trommelläufern.

Der technische Stand auf dem Kesselgebiet in den ersten zwanzig Jahren des vorigen Jahrhunderts ist durch kleine Naturumlaufkessel mit einer Dampfleistungen von 20 t/h, Dampfdrücken von 15 bar und Rostfeuerung gekennzeichnet, als Wilhelm Schmidt 1911 in Aschersleben einen viel beachteten "Hochdruckdampferzeuger" mit einer Leistung von 7 t/h und für einen Frischdampfzustand von 60 atü/490 °C errichtet. Bei dieser Anlage ist es möglich, durch das angehobene Frischdampfniveau den bis dahin üblichen Wärmeverbrauch von ca. 25.150 kJ/kWh auf damals sensationelle 16.370 kJ/kWh zu senken.

Hierdurch wird die Entwicklung angeregt, sich verstärkt mit "Höchstdruckdampf" - nach damaligem Sprachgebrauch ein Dampfdruck von über 30 bar - zu befassen. Jedoch bricht diese Entwicklung durch den Ausbruch des 1. Weltkrieges zunächst abrupt ab. Gleichzeitig verschlechtern sich die Kesselbaustähle durch den kriegsbedingten Mangel an Legierungsstoffen zur Stahlherstellung und so kommt es zu einer dramatischen Zunahme von Kesselschäden und Kesselexplosionen, die vor allem auf eine Versprödung des Materials und interkristalline Risse, aber auch auf die genieteten Trommeln zurückzuführen sind. Den Höhepunkt dieser Serie von Kesselschäden bildet die verheerende Kesselexplosion im Kraftwerk Reisholz am 09.03.1920. Als Ursache für die zahlreichen Schäden wird aber auch der schlechte Wärmeübergang bei Dampf Wasser-Gemischen vermutet.

Vor diesem Hintergrund erwecken 1923 Artikel in der Zeitschrift „Power“ und in der VDI-Zeitschrift über das Patent von Mark Benson und eine im Bau befindliche Versuchsanlage in Rugby/England (siehe Abschnitt 2) das Interesse von Hans Gleichmann, dem Leiter der Dampfabteilung AZ 7. Hans Gleichmann erkennt das große Entwicklungspotential dieser Idee auch mit Rücksicht auf potentielle Wirkungsgradsteigerungen beim Dampfkraftprozess.

In dieser Situation - Erweiterung des Siemens-Produktspektrums auf alle Kraftwerkskomponenten und Propagierung einer völlig neuen Kesseltechnologie durch Mark Benson - glaubt Siemens, sich mit der Verwertung des Benson-Patentes an die Spitze der Dampftechnik setzen zu können, da dieser Kesseltyp für höchste Drücke und Temperaturen geeignet ist und deshalb ein höherer thermodynamischer Wirkungsgrad des Dampfprozesses erreicht werden kann. Weitere Vorteile verspricht man sich von einer billigen und Raum sparenden Bauweise durch die Verwendung von Rohren kleinen Durchmessers, von einem schnellen Anfahren, einer großen Laständerungsgeschwindigkeit und der Explosionssicherheit.

Nach vorangegangenen Besuchen des Londoner Siemens-Vertreters, Szilagi, wird Benson zu Siemens nach Berlin

eingeladen. Dort wird nach zehntägiger Verhandlung am 11.10.1923 zwischen ihm und Siemens ein Vertrag abgeschlossen, der Siemens die Möglichkeit zur weltweiten Nutzung der Benson-Patente eröffnet (siehe Abschnitt 4).

Zu den ersten Versuchen in Rugby besuchen 1924 der Vorstandsvorsitzende Karl Köttgen und der Leiter der Abteilung Zentralen, Hans Gleichmann, die Anlage. Trotz der geringen Dampfleistung des kleinen Versuchskessels von 4,5 t/h gelingt es, die einfach gebaute Laval-Turbine mit Dampf von 108 at/400 °C bei 14 at Gegendruck zum Laufen zu bringen. Die Turbinen- und Drosselversuche ergaben, dass der Dampf des Kessels vollkommen wasserfrei war.

Am 15.08.1925 schließt Siemens mit der Internationalen Benson-Patentverwertungs AG einen Lizenzvertrag ab, durch den Siemens die ausschließliche Lizenz an den Benson-Patenten mit dem Recht der Erteilung von Unterlizenzen erhält.

Um schnell zu praktischen Ergebnissen zu kommen, entschließt sich Siemens 1925, eine Versuchsanlage im Siemens-Kraftwerk Berlin-Nonnendamm zu bauen. Dazu wird ein bestehender 10-t/h-Schrägrohrkessel aus dem Jahr 1903 umgebaut und als erster eigener Versuchs-Bensonkessel für Grundsatzuntersuchungen verwendet (Betrieb ab August 1925).

Inzwischen hat Siemens für die Entwicklung des Bensonkessels ein Büro eingerichtet, das Direktor Tonnemacher unterstellt ist. Hans Gleichmann erhält die technische Leitung. Er übernimmt es außerdem, die technische Fachwelt durch zahlreiche Veröffentlichungen für den Bensonkessel zu interessieren. Die Entwicklungsarbeiten werden vor allem durch Martin Eule (Konstruktion) und Heinz Rabe (Berechnung) durchgeführt.

#### **4. Benson Super Power Corporation des Mark Benson**

Zunächst ist festzustellen, dass Siemens das Benson-Patent nicht gekauft hat, sondern lediglich die Nutzungsrechte an dem Patent erworben hat. Die dazugehörigen Verträge beginnen am 11.10.1923 mit der Vereinbarung zwischen Siemens und Mark Benson, eine Patentverwertungsgesellschaft zu gründen, und enden am 10.03.1966 mit der Liquidation der von Mark Benson gegründeten Benson Super Power Corporation [61].

Mark Benson hat 1922 zur Auswertung seiner Erfindungen die „Benson Super Power Corporation“ (BSPC) im Staat Delaware/USA gegründet. Zunächst beträgt das Aktienkapital \$ 10'000.000, das 1940 auf \$ 500.000 zusammengelegt wird. Siemens ist der einzige Vertragspartner.

Die Verhandlungen zwischen Siemens und Mark Benson führen zu dem ersten Vertrag vom 11.10.1923. Darin wird vereinbart, die bisherigen und zukünftigen Erfindungen und Patente des Mark Benson einer neu zu gründenden Verwertungsgesellschaft zu übertragen, welche die Verwertung der Patente durch Lizenzvergabe vornehmen soll. Allerdings wird dabei der originale Bensonkessel nicht als ein Zwangsdurchlaufkessel mit Druckhalteventil definiert. Dieses Versehen sollte später noch sehr teuer für Siemens werden.

Daraufhin wird 1924 in Zürich die „Internationale Benson-Patentverwertungs AG“ (IB) gegründet, beteiligt sind je zur Hälfte Siemens und BSPC. Die Geschäftsführung der IB wird Siemens übertragen. Am 15.08.1925 schließt Siemens mit IB einen Lizenzvertrag ab, durch den Siemens die ausschließliche Lizenz an den Benson-Patenten mit dem Recht der Erteilung von Unterlizenzen erhält. Dafür zahlt Siemens ca. 200.000 Goldmark an BSPC. Außerdem verpflichtet sich Siemens, IB alle Erfahrungen und Schutzrechte aus der technischen Weiterentwicklung des Bensonkessels zur Verfügung zu stellen.

In einer Sondervereinbarung, die später die Siemens-Strategie noch wesentlich beeinflusst, wird festgelegt, dass die bei Siemens anfallenden Entwicklungskosten der IB belastet werden. Bis 1933 stehen Lizenzeinnahmen in Höhe von ca. sfr. 250.000 Entwicklungskosten in Höhe von sfr. 3'750.000 gegenüber. Weitere Kosten in Höhe von ca. RM 3'500.000, die im Wesentlichen für die Bensonkessel-Versuchsanlage angefallen sind, trägt Siemens selbst.

Inzwischen wird erkannt, dass ein Bensonkessel auch mit unterkritischem Druck betrieben werden kann. Das Benson-Patent verliert an Bedeutung. Siemens meldet Patente für unterkritische Durchlaufkessel an. Aufgrund dieser neuen Entwicklung überlegt Siemens, aus der IB auszuschneiden. Ein entsprechender Beschluss wird jedoch nicht gefasst, weil sowohl eine Abgrenzung zwischen dem über- und dem unterkritischen Bensonkessel technisch und rechtlich problematisch ist als auch die erwähnten Entwicklungskosten in Höhe von sfr. 3'750.000 nicht mehr von IB übernommen würden. Die Verhandlungen zwischen Siemens und BSPC enden mit einem neuen Vertrag vom 29.03.1933, der den Vertrag vom 11.10.1923 ablöst. Siemens bringt nunmehr auch die Entwicklungsergebnisse für unterkritische Bensonkessel in die IB ein und nach Abdeckung der Siemens-Vorleistung (sfr. 3'750.000) wird der Lizenzüberschuss aufgeteilt im Verhältnis von 50:50 für überkritische Anlagen und von 85:15 (Siemens:BSPC) für unterkritische Anlagen. Dieser Vertrag soll so lange in Kraft bleiben wie Patentrechte bestehen, Siemens kann also den Vertrag nur durch Ausscheiden aus der IB beenden.

Steuerliche und Devisentransfer-Probleme führen am 21.10.1937 zu einem neuen Vertrag, der eine Auflösung der IB und ein direktes Vertragsverhältnis zwischen Siemens und BSPC vorsieht. Es wird vereinbart, dass Siemens das Benson-Geschäft für beide Parteien treuhänderisch weiterführt, die Siemens-Vorleistungen aus den früheren Jahren auf RM 2'500.000 festzusetzen, Schweizer Recht anzuwenden und den Vertrag so lange in Kraft zu lassen wie Lizenzgebühren eingehen.

Im Zusammenhang mit dem Ende des 2. Weltkrieges wird in dem Londoner Abkommen über die Behandlung deutscher Patente vom 27.07.1946 festgelegt, die gewerblichen Schutzrechte (Patente, Warenzeichen, Handelsmarken) zu beschlagnahmen. Dadurch werden auch die Benson-Patente wertlos. Leider hat es die Siemens-Patent- und Lizenzabteilung in dieser Situation versäumt, den Vertrag mit BSPC zu kündigen.

Bis zum 30.09.1951 wurden die Siemens-Vorleistungen in Höhe von RM 2'500.000 durch Lizenzzahlungen abgedeckt.

Mit Schreiben vom 01.03.1955 versucht Siemens, den Vertrag mit BSPC zu beenden, da BSPC außer der Überlassung der Benson-Patente im Jahr 1923 keine Leistungen mehr erbracht hat und die Patente 1940 abgelaufen waren. Dieser Vorgang erweckt die BSPC, die bereits im US-Handelsregister gelöscht war, zu neuem Leben. Ihr neuer Vorsitzender Wayne McAllister erklärt, die neueren Bensonkessel würden bei Volllast alle überkritisch betrieben - sie seien somit lizenzpflichtig und verlangte einen 15 %igen Anteil am Lizenzgewinn. BSPC besteht auf der Fortführung des Vertrages und beantragt 1960 bei der IHK ein Schiedsgerichtsverfahren auf Rechnungslegung und Zahlung, das in der Schweiz und in Rom durchgeführt wird. Als sich herausstellt, dass die Schiedsrichter nicht geneigt sind, den Siemens-Argumenten zu folgen, wird am 24.05.1962 ein Vergleich geschlossen, als dessen Folge der Vertrag vom 21.10.1937 weitergeführt wird. Man kommt jedoch überein, die Gespräche mit dem Ziel einer Änderung oder Beendigung des Vertrages von 1937 fortzusetzen.

Im Juli 1963 werden in Erlangen mehrtägige Gespräche mit Wayne McAllister geführt zur Änderung bzw. Beendigung des Vertrages. Die Siemens-Vorschläge zur terminierten Beendigung des Vertrages bzw. über eine Kapitalabfindung werden abgelehnt. In weiteren Besprechungen im Jahr 1964 wird dann doch über eine Kapitalabfindung diskutiert. Ausgangsbasis ist eine Forderung des Wayne McAllister in Höhe von DM 10'694.000 und ein Angebot von Siemens über DM 4'000.000. Die Verhandlungspartner können sich nicht einigen.

Erst in der Besprechung am 14./15.09.1965 einigt man sich auf zwei Alternativvorschläge:

1. Vorschlag: Siemens zahlt BSPC zur Abgeltung aller bis zum Ende des Geschäftsjahres 1964/65 aufgelaufenen Ansprüche \$ 400.000. Eine Schweizer Gesellschaft übernimmt von BSPC den Vertrag (mit allen zukünftigen Rechten) gegen Zahlung von \$ 1'150.000.
2. Vorschlag: Wayne McAllister kommt auf den früheren Vorschlag, die BSPC-Aktien zum Preis von \$ 30,00 pro Stück zu verkaufen, zurück, jedoch mit der Maßgabe, dass der Verkauf nicht an Siemens, sondern an eine Schweizer Gesellschaft erfolgt.

Siemens-intern wird der erste Vorschlag favorisiert. In der BSPC-Aktionärsversammlung am 15.02.1966 stimmen die Aktionäre dem ersten Vorschlag und der damit verbundenen Liquidation der Gesellschaft zu. Am 10.03.1966 werden in New York die Verträge übergeben und die vereinbarten Beträge in Höhe von DM 6'510.000 bezahlt. Auf Wunsch von BSPC geht der Vertrag aus steuerlichen Gründen zunächst auf die Schweizer Gesellschaft Lothar AG über, dort erfolgt dann die Liquidation.

Mit dem 10.03.1966 sind damit alle vertraglichen Bindungen, die auf den ersten Vertrag mit Mark Benson vom 11.10.1923 zurückgehen, beendet.

## 5. Siemens als Kesselhersteller - Eine Chronologie

15.08.1925: Erwerb der weltweiten Nutzungsrechte an dem Benson-Patent durch Siemens.

1925: Im Siemens-Heizkraftwerk in Berlin-Nonnendamm wird durch Umbau eines bestehenden 10-t/h-Schrägröhrkessels aus dem Jahre 1903 ein erster eigener Versuchs-Bensonkessel errichtet und für Grundsatzuntersuchungen verwendet. Der vorhandene 13-at-Kessel wird angehoben und darunter werden die Rohrpakete für das Benson-System montiert. Der alte Kessel dient nur noch als rauchgasbeheizter Speisewasservorwärmer, der das Speisewasser von 20 auf 180 °C erwärmt. Das Speisewasser wird dem Strahlungsverdampfer zugeführt und verlässt ihn als Dampf mit ca. 225 bar/370 °C, wird auf 400 °C überhitzt und dann auf einen Gebrauchsdruck von 150 bar gedrosselt und erneut auf 410 °C erhitzt. Mit diesem Zustand wird er einer Hochdruckdampfturbine zugeführt. Mit dieser Anlage (seit August 1925 in Betrieb) beginnt auch bei Siemens die Entwicklung von Druckhalteventilen, Reglern ("Zeigerregler") und Anfahrventilen (Bypass in den Kondensator). Die Versuchsergebnisse sind noch nicht überzeugend, weil am Ende des Verdampfers nach einigen Betriebstagen immer wieder Rohrreißer auftreten. Durch Entschlammungsventile an den einzelnen Parallelsträngen werden Verbesserungen erzielt. Grundsätzlich hat sich diese Anlage bei Betrieb mit gut aufbereitetem Speisewasser jedoch bewährt. Dieser 10-t/h-Kessel bleibt bis 1928 in Betrieb, bis er abgebaut, in geänderten Zustand nach Bitterfeld geliefert (Kraftwerk Elektro Süd der IG Farben) und noch bis 1930 weiter betrieben wird.

1926: Für das Siemens-Kabelwerk in Berlin Gartenfeld wird ein erster kommerzieller Bensonkessel mit einer Dampfleistung von 30 t/h und einem Überhitzeraustrittszustand von 182 bar/420 bis 450 °C und Zwischenüberhitzung geplant. Dieser Beschluss zeugt von großem Mut, da diese Anlage als Turmkessel in Freiluftbauweise mit Kohlenstaubeuerung gebaut werden soll. Der Kessel geht im Herbst 1927 in Betrieb und besitzt folgende Merkmale:

- Zylinderförmige Brennkammer, um eine gleichmäßige Wärmeübertragung durch Strahlung zu gewährleisten
- Gekühlte Brennkammerwände mit Senkrechtberohrung (16 Parallelstränge, jeweils 16 Rohre werden hintereinander aufwärts und abwärts durchströmt.)
- Möglichst gleich große Strömungswiderstände in allen Strängen
- Kohlenstaub-Deckenfeuerung mit Ölzündbrennern

Es treten Rohrreißer im Bereich des Flammenkegels auf, sie sind nicht auf den Endteil des Verdampfers beschränkt. Die Ansicht setzt sich durch, dass der zu hohe Salzgehalt des Speisewassers die wesentliche Ursache für die Rohrschäden ist und es wird eine Verdampferanlage für das Speisewasser gebaut. Man gewinnt hier auch die wichtige Erkenntnis, dass es zukünftig nötig ist, die so genannte Restverdampfungszone in einem mäßig beheizten Rauchgasgebiet anzuordnen (Übergangsteil). Eine weitere Ursache ist die fehlende Entlüftung in den hintereinander geschalteten senkrechten Brennkammerrohren. Bei einem Umbau im Jahr 1929 werden der Zwischenüberhitzer

entfernt und die senkrechte Berohrung der Brennkammer durch eine schraubenförmige Berohrung ersetzt, mit der eine sichere Entlüftung und damit Durchströmung der Verdampferrohre möglich ist. Außerdem wird der Kessel auf Gleitdruckbetrieb umgerüstet. Der Kessel wird schließlich 1940 abgerissen und durch einen neuen 50-t/h-Bensonkessel ersetzt, der aber schon 1945 wieder demontiert und nach Russland verschickt wird.

1927: Bau eines Versuchs-Bensonkessels für die Technische Hochschule Berlin (Prof. Josse) mit einer Dampfleistung von 3 t/h, 230 bar/450 °C. 1927 unternimmt Prof. Josse erstmals den Versuch, diesen Bensonkessel ca. 14 Tage mit voll geöffnetem Druckhalteventil unterkritisch zu betreiben, was auch mit vollem Erfolg gelingt. Damit wird von fachkundiger Seite die Erfahrung des Betriebspersonals anderer Bensonkessel bestätigt, dass ein Bensonkessel auch unterkritisch betrieben werden kann. Aus dieser Erkenntnis ergibt sich einerseits die Wertlosigkeit des Benson-Patentes (es schreibt das Druckhalteventil zwingend vor), andererseits erkennt Hans Gleichmann die Möglichkeit und die großen Vorteile des Gleitdruckbetriebes für Kraftwerke. So erfolgt beim Umbau der Gartenfelder Bensonkessel gleichzeitig die Umrüstung auf Gleitdruckbetrieb und ab 1930 werden beide Kessel nur noch im Gleitdruck gefahren.

1927: Der Baubeschluss für einen zweiten Bensonkessel im Siemens-Kabelwerk fällt so früh, dass die richtigen Erkenntnisse über die Salzablagerung in der Restverdampfungszone nicht mehr verwirklicht werden können. Erst bei einem Umbau im Jahre 1931 wird die Restverdampfungszone als sog. Übergangsteil in den zweiten Zug verlegt. Auch dieser Kessel wird in Freiluft Turmbauweise errichtet. Dieser Kessel hat eine Dampfleistung von 37,5 t/h, 221 bar im Verdampfer und 182 bar/465 °C am Überhitzeraustritt. Im Feuerraum, der im unteren Teil einen quadratischen und oben einen kreisförmigen Querschnitt besitzt, werden die Rohre des Verdampfers schraubenförmig in zwei Aufgängen angeordnet. Ab 1932 wird auch dieser Bensonkessel ohne Druckhalteventil mit Gleitdruck betrieben.

1928: Bau eines 7,5-t/h-Bensonkessels mit Rostfeuerung mit den IG Farben in der Kraftzentrale Bitterfeld. Siemens übernimmt dabei die Kosten für die wasser- und dampfberührten Bauteile. Der Druck im Verdampfer beträgt 221 bar, der Überhitzeraustrittszustand ist 25 bar/400 °C. Mit dieser Anlage wird eindeutig nachgewiesen, dass die häufigen Rohrreißer durch Salzablagerungen verursacht werden. Außerdem zeigt es sich, dass der Bensonkessel regelungstechnisch auch für den Betrieb mit Rostfeuerungen geeignet ist.

1929: Bau des kohlenstaubeuerten Bensonkessels Langerbrügge für Société des Centrales Électriques des Flandres et du Brabant mit einer Dampfleistung von 125 t/h, 221 bar/450 °C am Überhitzeraustritt und mit Zwischenüberhitzung bei 56 bar/450 °C. Dieser in Freiluft Turmbauweise errichtete Kessel gehört zu den größten Anlagen seiner Zeit. Die Vorschaltturbine wird mit konstantem Vordruck betrieben. Auch dieser Kessel wird mehrfach umgebaut. Zunächst verlegt man die Restverdampfungszone in den zweiten Zug. 1934 wird die Brennkammerberohrung, die als doppelte

Schraubenwicklung ausgeführt ist, wegen starker Verschlackung der Brennkammer in ein senkrechtes Steigrohr-Fallrohr-System geändert. Außerdem wird der Überhitzerdruck auf 160 bar reduziert.

1933: Hans Gleichmann und seine Mitarbeiter bemühen sich nach Kräften, den Bensonkessel bei Industriekraftwerken und Elektrizitätsversorgungsunternehmen zur Anwendung zu bringen.

Jahr	Anlage	Betreiber	Leistung t/h	Druck bar	Temp. °C	Brennstoff
1924	Test rig Rugby*	Siemens, Berlin	4,5	103	420	Öl
1925	Nonnendamm	Siemens, Berlin	10	105	410	Öl
1926	Kabelwerk 1	Siemens, Berlin	30	190	450	Steinkohle
1927	Kabelwerk 2	Siemens, Berlin	37,5	190	465	Steinkohle
1927	TH Berlin	TH Berlin, Berlin	3	230	450	Öl
1928	Bitterfeld	IG Farben, Bitterfeld	7,5	221	380	Braunkohle
1929	Langerbrügge/ Belgien	Société des Centrales Électr. des Flandres	125	190	470	Steinkohle
1929	MS Uckermark 1 *	Hapag, Hamburg	24	80	460	Öl

Von Siemens gebaute Bensonkessel (\* Fertigstellung bzw. gemeinsam mit Blohm + Voss)

Aufgrund der in Langerbrügge gemachten Erfahrungen werden die Verdampfer in der Brennkammer in der folgenden Zeit als Steigrohr-Fallrohr-Systeme mit Zwischensammlern ausgeführt. Diese etwas aufwändige Bauweise wird später von Lizenznehmern lange beibehalten, weil niemand es wagt, eine durchgehende Verdampferkonstruktion zu bauen. Auch alle weiteren Entwicklungsarbeiten für den betriebsreifen Bensonkessel werden in den folgenden Jahren durch Siemens geleistet.

1929: Gemeinsame Konstruktion und Bau eines Schiffs-Bensonkessels mit Blohm + Voss für die MS Uckermark. Die Dampfleistung beträgt 24 t/h, der Druck im Verdampfer 221 bar, der Dampfzustand hinter dem Überhitzer 69 bar/445 °C. Es wird erstmals das Steigrohr-Fallrohr-System eingesetzt, das auch „Schiffsregister“ genannt wird. Der Kessel wird 1934 durch Entfernen des Druckhalteventils auf unterkritischen Druck umgestellt, die Restverdampfungszone wird in den zweiten Zug verlegt. 1937 wird der Kessel durch zwei neue Bensonkessel gleicher Leistung ersetzt.

Die bisher beschriebenen Bensonkessel - mit Ausnahme des Kessels für die MS Uckermark - werden alle in der damaligen Siemens-Abteilung AZ 7h konstruiert und z.T. in den Borsig-Werkstätten (Schiffskessel bei Blohm + Voss) hergestellt. Man hat gelernt, wie ein Durchlaufkessel gebaut werden muss, wenn er im Dauerbetrieb zuverlässig arbeiten soll.

Die Aufwendungen für die verschiedenen Umbauten hat das Benson-Konto inzwischen mit RM 2'500.000 belastet. Es ist das Verdienst von Hans Gleichmann, diese finanzielle Durststrecke beim Vorstand mit Erfolg vertreten zu haben.

1933: Siemens entschließt sich, den Bau von Bensonkesseln in eigenen Werkstätten aufzugeben.

## 6. Siemens als Lizenzgeber für Bensonkessel

### Die Zeit von 1925 bis 1945

Siemens erwirbt 1925 durch den Vertrag mit der „Internationalen Benson-Patentverwertungs AG“ die ausschließliche Lizenz an den Benson-Patenten mit dem Recht der Erteilung von Unterlizenzen. Die erste Unterlizenz erteilt Siemens am 23.10.1926 an Steammotor. Der Hintergrund dieser Lizenzvergabe ist nicht mehr bekannt, Steammotor hat keinen einzigen Bensonkessel gebaut.

Siemens entschließt sich 1933, den Bau von Bensonkesseln in eigenen Werkstätten aufzugeben, da der Bau von Dampfkesseln über den Rahmen des Fertigungsprogrammes von Siemens hinausgeht. Eine Kesselfertigung erfordert völlig andere Herstellungsverfahren als eine Turbinen- oder Generatorfertigung. Möglicherweise wird diese Entscheidung auch von der Weltwirtschaftskrise beeinflusst. Der letzte Auftrag (Langerbrügge) stammt aus dem Jahr 1929. Stattdessen vergibt Siemens nun Lizenzen an die Kesselindustrie.

Siemens vergibt 1933 eine strategische Lizenz an Westinghouse Electric & Manufacturing Co. mit Datum vom 16.10.1933. Hintergrund dieser Lizenz ist ein Rahmenvertrag aus dem Jahr 1924 über einen Informationsaustausch und eine Interessengemeinschaft. Ein Punkt dieser Interessengemeinschaft ist die Abgrenzung von Einflussgebieten. So tritt Siemens auf dem US Markt nicht in Erscheinung, dafür überlässt Westinghouse den europäischen Markt weitgehend dem Haus Siemens. Anfang der 50er Jahre wird dieser Rahmenvertrag mit Westinghouse erneuert, bis er Anfang der 60er Jahre offiziell gekündigt wird. Die Benson-Lizenz erlischt 1945, Westinghouse hat wohl nie beabsichtigt, Kessel zu fertigen.

Die eigentliche Lizenzvergabe an Kesselfirmen beginnt dann 1934. 17 Hersteller erhalten bis zum Kriegsende eine Benson-Lizenz, darunter u. a.:

Lizenznehmer	Vertragsbeginn
A. Borsig Maschinenbau AG, Berlin-Tegel	23.05.1934
Dürrwerke AG, Ratingen	30.06.1934
Blohm + Voss Kommanditges. auf Aktien, Hamburg	25.09.1934
Vereinigte Kesselwerke AG, Düsseldorf	08.10.1935
Walther & Cie., Köln	09.11.1936
L. & C. Steinmüller GmbH, Gummersbach	15.03.1937
Friedr. Krupp Germaniawerft AG, Kiel-Gaarden	08.12.1937
Ansaldo S.A., Genua	11.11.1939

Die Lizenzgebühr (z. B. bei der Dürrwerke AG) beträgt anfangs 5 % vom Nettopreis ausschließlich Fracht und Verpackung.

1935 hat die Siemens-Kesselabteilung einen Bensonkessel durchkonstruiert, in den alle Erfahrungen hinsichtlich Konstruktion und Betriebsverhalten eingeflossen sind. Schwerpunkte sind die Brennkammerberohrung mit einem Steigrohr-Fallrohr-System und die Kesselregelung. Alle neuen Bensonkessel werden bei unterkritischem Druck betrieben, damit wird das Ursprungspatent von Mark Benson wirkungslos - versehentlich unterbleibt aber die Kündigung diverser Verträge mit Mark Benson und der Benson Super Power Corporation (BSPC). Von Ende der 50er bis Mitte der 60er Jahre führt dies zu einem langwierigen Rechtsstreit mit der BSPC über Lizenzgebühren (siehe Abschnitt 4).

Ein Patentstreit zwischen Siemens/Krupp Germaniawerft und Sulzer/Halberg endet 1940 mit einem Vergleich. Es besteht dabei die Absicht, das konkurrierende Verhalten von Siemens und Sulzer zu beenden, um dem Durchlaufkessel gegenüber dem Trommelkessel zum endgültigen Durchbruch zu verhelfen. Tatsächlich werfen die Benson-Lizenznehmer jedoch Siemens eine Stärkung des Sulzerkessels vor, verlangen eine Reduzierung der Lizenzgebühren und drohen sogar mit Vertragskündigung.

Aufgrund der Kriegswirren wird 1943 der vorläufig letzte Bensonkessel bestellt. Bis zu diesem Zeitpunkt werden von den Lizenznehmern 125 Bensonkessel mit Dampfleistungen bis zu 160 t/h und einer Gesamtleistung von 2.880 kg/s (10.368 t/h) gebaut, davon allein 74 von den Dürrwerken und von Borsig. Außerdem entsteht eine große Anzahl von Schiffskesseln für die deutsche Kriegsmarine.

Durch die bis Ende 1944 eingegangenen Lizenzzahlungen wurde das Benson-Konto von 2'500.000 RM auf 750.000 RM entlastet.

#### Neubeginn nach 1945

Gegen Ende des Krieges müssen die wichtigsten Unterlagen vor der auf Berlin anrückenden Roten Armee gerettet werden. So wird am 12. März 1945 ein Teil der Kraftwerksabteilung von Berlin nach Mülheim/Essen zur Gruppenleitung "West" verlegt, um die Mitarbeiter und das Know-how vor russischem Zugriff zu schützen. Dabei werden alle wichtigen Planungsunterlagen und Akten auf zwei Lastwagen mit Anhängern verladen und ebenfalls nach Mülheim ausgelagert.

Im Zusammenhang mit dem Ende des 2. Weltkrieges wird in dem Londoner Abkommen über die Behandlung deutscher Patente vom 27.07.1946 festgelegt, die gewerblichen Schutzrechte (Patente, Warenzeichen, Handelsmarken) zu beschlagnahmen. Dadurch werden die Benson-Patente wertlos. Auch der Bau von Dampfturbinen und Kesseln wird verboten. Außerdem ist kein Kapital zum Bau neuer Kraftwerke vorhanden. Ferner entstehen durch unerfahrenes Bedienungspersonal erhebliche Korrosionsschäden an den vorhandenen Anlagen. Rohrreißer in den Kesseln zwingen immer wieder zum Abstellen. Damit scheint das Ende des Bensonkessels gekommen zu sein.

Als die Alliierten vom Morgenthau-Plan auf den Marshall-Plan umschwenken, ist das notwendige Kapital zum Bau von Kraftwerken wieder verfügbar. Es folgt sehr bald eine Reihe von Bestellungen für die bisher üblichen Leistungsgrößen von 160 - 200 t/h zum Einbau in Sammelschienenkraftwerken.

Mit Schreiben vom 15.5.1950 an Herrn Schultes (Nachfolger von Hans Gleichmann), empfiehlt die Patentabteilung, das Benson-Lizenzgeschäft aufzugeben, weil keine Patente mehr vorhanden seien und die Bilanz immer noch negativ sei. Diese Empfehlung wird von den verantwortlichen Technikern jedoch nicht befolgt, sondern es wird mit neuen Patenten die Basis für den zukünftigen wirtschaftlichen Erfolg der Benson-Lizenz gelegt.

Das nach dem Kriegsende beginnende rasche Wirtschaftswachstum führt bei den EVU und den kesselbauenden Firmen zu erneutem und wachsendem Interesse an der Benson-Technologie. Der Übergang zu größeren Einheitsleistungen, der Blockbetrieb zwischen Kessel und Turbine und die Anwendung höchster Drücke ermöglichen einen hohen Anlagenwirkungsgrad. Die Zwischenüberhitzung wird allgemein eingeführt und eine Reihe von Anlagen mit doppelter Zwischenüberhitzung gebaut. Die Eignung des Bensonkessels für hohe Drücke und eine flexible Betriebsweise mit konstanter Dampftemperatur über dem ganzen Lastbereich kommt diesen Forderungen besonders entgegen.

#### Die Zeit von 1950 bis 1970

Bald lebt mit den veränderten politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen das Lizenzgeschäft wieder auf und weitere namhafte Kesselhersteller können als Lizenznehmer gewonnen werden, u. a.:



Lizenznehmer	Vertragsbeginn
Deutsche Babcock & Wilcox Dampfkesselwerke AG, Oberhausen,	11.04.1950
Babcock & Wilcox Ltd., London	20.09.1951
Simon-Carves Ltd., Stockport	01.11.1951
Yokoyama Engineering Co. Ltd., Kobe	01.03.1954
Babcock & Wilcox, Barberton	29.04.1954
A/S Burmeister & Wain's Motor- e Maskinfabrik af 1971, Kopenhagen	24.09.1954
Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG, Nürnberg	16.06.1955
Clarke, Chapman & Co., Ltd., Gateshead	24.04.1956
Koninklijke Machinefabriek Gebr. Stork & Co., Hengelo, später Stork Ketels B.V.	10.09.1959
Babcock-Hitachi K. K., Tokyo	02.06.1960

1951 erfolgt die Übersiedlung der Kesselabteilung von Mülheim nach Erlangen, dem heutigen Stammsitz, und eine sukzessive Wiederaufstockung der Mitarbeiterzahl beginnt.

In den 50er und 60er Jahren werden wichtige Innovationen auf dem Gebiet der Konstruktion in den Kesselbau eingeführt:

- 1954 werden zahlreiche Bensonkessel mit Schmelzfeuerung bestellt. Für die geometrisch komplizierten Brennkammern erhält die Verdampferberohrung die Form eines Mäanderbandes.
- 1956 wird der erste amerikanische mauerwerklose Bensonkessel mit gasdicht verschweißten Wänden im KW Breed der American Electric Power Corp. (Leistung 450 MW, 1350 t/h, 240 bar/565 °C, doppelte ZÜ 545/565 °C, Hersteller: Babcock USA) gebaut.
- 1960 führt Siemens die schraubenförmige Brennkammerberohrung in den Großkesselbau ein. Die Anlage Civitavecchia (Hersteller: Ansaldo) hat noch eine Skin-Casing-Konstruktion, dann folgen mit den Anlagen Rhodiaceta (Hersteller: VKW), Badalona und Fintinele (Hersteller: Dürrwerke) Kessel mit gasdicht verschweißten Umfassungswänden in Turmbauweise. Leider wird versäumt, diese Innovation patentrechtlich schützen zu lassen, um den technischen Vorsprung vor dem Sulzerkessel zeitlich möglichst lange auszudehnen. Die Unterschiede zu der schraubenförmigen Berohrung bei den ersten Bensonkesseln in den 20er Jahren und zu dem AEG-Patent der runden Schmelzkammer (später von der Dürrwerke AG erworben) sind so wesentlich, dass eine Patenterteilung wahrscheinlich gewesen wäre.

Die Siemens-Kesselabteilung beteiligt sich an der Lösung der dabei auftretenden Konstruktionsprobleme, es werden zahlreiche Patente angemeldet und erteilt. Die Lizenznehmerberatung wird dabei im In- und Ausland ausgebaut, ein Schwerpunkt liegt in diesen Jahren eindeutig auf dem Gebiet der Konstruktion. Weiterhin werden Konzepte entwickelt, um die Kessel betriebssicherer

zu machen und um das Betriebsverhalten zu verbessern. Siemens wird zum führenden Kraftwerksberater in Deutschland, da man als einziger Hersteller die Technologie aller Hauptkomponenten eines Kraftwerkes beherrscht.

Der Auftragseingang für Bensonkessel steigt stark an. Die Lizenzgebühr wird für viele Lizenznehmer reduziert, da bald ein definiertes Auftragsvolumen mit höherer Lizenzgebühr überschritten ist.

Nachdem sich der Durchlaufkessel gegenüber dem Trommelkessel in Deutschland durchgesetzt hat, wird die Konkurrenz zwischen dem Bensonkessel und dem Sulzerkessel immer heftiger und erreicht auf der 5. Weltkraftkonferenz 1956 in Wien einen Höhepunkt. Auf einen Diskussionsbeitrag des Rupprecht Michel/Siemens antwortet der Vertreter von Sulzer, H. Juzi, derart unsachlich, dass er vom Präsidenten mehrfach verwarnt wird und schließlich unter dem Pfeifen des Publikums das Rednerpult verlassen muss.

Objektiv muss jedoch festgestellt werden, dass der Erfolg des Bensonkessels nicht allein auf seinem guten und anpassungsfähigem Konzept und der Lizenznehmerberatung durch die Kesselabteilung beruht, sondern dass die Marktstellung von Siemens als führender Kraftwerksberater in Deutschland ebenfalls einen Beitrag zur Verbreitung des Bensonkessels leistet. Auch als Kraftwerksberater wird die Entwicklung auf dem Kesselgebiet beeinflusst: So wird z.B. unter Federführung von Siemens in Zusammenarbeit mit VKW und RWE ein Kessel- und Feuerungskonzept erarbeitet, mit dem erstmals die Verbrennung von Salzkohle unproblematisch gelingt (350-MW-Block Buschhaus).

#### Die Zeit von 1970 bis 1985

Nachdem die Lizenznehmer die mit der Einführung der gasdichten Rohrwand verbundenen konstruktiven Probleme mit Hilfe von Siemens beherrschen, glauben sie, ohne Siemens-Know-how Bensonkessel bauen zu können und das Interesse der deutschen Lizenznehmer an der Benson-Lizenz lässt spürbar nach. Außerdem nimmt durch das Vordringen der Kernkraftwerke die Bedeutung von Siemens als Berater für Kohlekraftwerke in Deutschland ab.

Vor diesem Hintergrund kündigen die deutschen Kesselhersteller im Juni 1971 die Lizenzverträge. Am 20.10.1971 findet in Erlangen eine Besprechung statt, an der die Vorstände aller deutschen Lizenznehmer teilnehmen und die seitens Siemens vom Vorstand Hasso Leiste geleitet wird. Sie bieten zunächst an, bis auf die Benutzung der Patente auf eine Beratung durch Siemens ganz zu verzichten und die Lizenzgebühren entsprechend zu senken.

Siemens versucht durch den Vorschlag, eine neue Versuchsstrecke zu bauen und die Forschung zu intensivieren, das Schlimmste zu verhindern. Die Kesselhersteller akzeptieren diesen Vorschlag und es kommt zu einem Kompromiss, bei dem neue Verträge vereinbart werden. Dabei wird auch die Berechnungsgrundlage für die

Lizenzgebühren umgestellt und zwar vom Prozentsatz des Kesselpreises auf die Kesselleistung (DM je t/h Dampfleistung), getrennt für Öl/Gas-Kessel und für Kohlekessel. Eine Preisgleitformel wird eingeführt. Durch diese Änderung werden die immer wieder auftretenden, oft etwas unangenehmen Diskussionen zwischen Siemens und den Lizenznehmern über den einzusetzenden Kesselpreis zur Ermittlung der Lizenzgebühren beseitigt.

Im Südgelände in Erlangen werden daraufhin eine neue Versuchshalle und ein Laborgebäude errichtet (Bau 64), in denen die neue Benson-Versuchsstrecke untergebracht wird. Sie nimmt im Herbst 1974 den Betrieb auf.

Mit der Fertigstellung der Benson-Versuchsstrecke stellt Siemens die Beratung seiner Lizenznehmer völlig um: Siemens definiert jetzt Forschungsvorhaben, stimmt diese mit den Lizenznehmern ab und stellt auf jährlichen Lizenznehmer-Tagungen die Ergebnisse vor. Siemens wird mit dieser Grundlagenforschung weltweit führend auf den Gebieten innerer Wärmeübergang und Druckverlust in Rohren. Das Gleiche gilt für die Arbeiten zur Simulation des dynamischen Verhaltens des Kessels und des Blockes.

Der Schwerpunkt der Lizenznehmerberatung verlagert sich von konstruktiven und Anordnungsproblemen zu Fragen der wärme- und strömungstechnischen Auslegung des Verdampfers und des dynamischen Verhaltens des Kessels. Die deutschen Lizenznehmer honorieren dies mit einer Verlängerung der Lizenzverträge.

Interessant verlaufen 1973 Gespräche über eine Fusion des Sulzer-Lizenznehmers EVT mit dem Benson-Lizenznehmer MAN. Die neue Gesellschaft ist bereit, im Inland nur noch in Ausnahmefällen Sulzerkessel anzubieten und für alle von dieser neuen Gesellschaft im In- und Ausland gebauten Durchlaufkessel (Benson- und Sulzerkessel) 70 % der Lizenzgebühr - entsprechend dem Marktanteil von MAN und EVT - an Siemens zu zahlen. Da Walther als 40 %er Anteilseigner an EVT jedoch überraschend die Kapitalverhältnisse ändert, scheitert die Fusion in dieser Form.

In den 60er und 70er Jahren dominieren in Japan überkritische Kessel der amerikanischen Bauarten Universal Pressure und Combined Circulation. Im Herbst 1979 organisiert der Lizenznehmer Kawasaki deshalb eine Rundreise zu den sieben großen japanischen EVUs, bei der Siemens Vorträge über Bensonkessel hält. Daraufhin gelingt auch in Japan der Durchbruch des Bensonkessels.

Die deutschen Lizenznehmer verlangen von Siemens aufgrund der Lizenzzahlungen häufig eine bevorzugte Behandlung bei der Vergabe von Kernkraftwerkskomponenten. Anfang der 80er Jahre beschließt deshalb der Siemens-Vorstand, die Benson-Lizenz auslaufen zu lassen. Die Forschungsaktivitäten sollen drastisch reduziert und Lizenzverträge nicht verlängert werden. Dieser Beschluss, mit dem Siemens zukünftige hohe Lizenzinnahmen verloren und der dem Image von Siemens insbesondere im Ausland geschadet hätte,

scheitert an dem wachsenden Interesse der Lizenznehmer an dem Siemens-Know-how. Sie unterlassen in den folgenden Jahren die üblichen Änderungskündigungen zur Anpassung der Konditionen. Außerdem verlieren die Kernkraftwerke und damit Siemens als Auftraggeber bald an Bedeutung: Der Beschluss verläuft Ende der 80er Jahre dadurch im Sande.

#### Die Zeit von 1985 bis 2000

Aus Kostengründen bauen die Lizenznehmer weltweit ihre Entwicklungskapazitäten auf der Wasser-/Dampfseite des Kessels ab, dadurch vergrößert sich der Know-how-Vorsprung der Siemens-Kesselabteilung weiter.

In den USA werden in großen Durchlaufkesseln, aber auch in Trommelkesseln zunehmend innenberippte Rohre eingesetzt, der japanische Sulzer-Lizenznehmer Mitsubishi baut damit drei 700-MW-Kessel mit senkrecht berohrten Brennkammern. Deshalb intensiviert Siemens ab 1990 die Grundlagenforschung für innenberippte Rohre. Die Forschungsergebnisse führen zu zahlreichen Patenten (Grundsatzpatent EP 0 581 760 B2) für senkrecht berohrte Brennkammerwände mit niedriger Massenstromdichte. Der Anwendungsbereich für das so genannte „Low mass flux design“ kann bis hinunter zu einer Kesselleistung von 350 MW ausgedehnt werden.

Mitte der 90er Jahre gewinnt Siemens einen langwierigen Patentstreit gegen Sulzer, die ein Patent über eine besonders wärmeelastische Brennkammer-Aufhängung verletzen. Sulzer muss 250.000 SFR an Siemens zahlen.

Die Öffentlichkeitsarbeit wird verstärkt: Durch Vorträge auf internationalen Tagungen und durch Publikationen werden die wissenschaftlichen Arbeiten von Siemens und ihre Bedeutung für die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Bensonkessels weltweit bekannt gemacht. Schwerpunkt dieser Aktivitäten ist dabei der Zukunftsmarkt China. In zahlreichen Vorträgen und Seminaren in China werden Betreiber, Behörden und Universitäten mit der europäischen Kraftwerkstechnik mit dem Schwerpunkt Bensonkessel vertraut gemacht. Der Durchbruch der europäischen Kraftwerkstechnik gelingt 1996 mit dem Kraftwerk Waigaoqiao, als es Siemens gelingt, dass die Planung von drei unterkritischen 660-MW-Blöcken amerikanischer Bauart in zwei überkritische 900-MW-Blöcke umgestellt wird und den Turbinenauftrag zu erhalten. Den Kesselauftrag erhält allerdings noch der Sulzer-Lizenznehmer EVT. In der Folgezeit dominiert dann der Bensonkessel in China.

In dieser Zeit können weitere namhafte Kesselhersteller als Lizenznehmer gewonnen werden:

Lizenznehmer	Vertragsbeginn
Foster Wheeler Energy International Inc., Clinton	20.08.1996
Bharat Heavy Electrical Industries Ltd., New Delhi,	01.07.1999

Mitte der 90er Jahre setzt ein weltweiter Gasturbinen-Boom ein. Für einen horizontalen Abhitze-Bensonkessel hinter Gasturbinen (GUD-Kraftwerk) wird das Grundsatzpatent EP 0 944 801 B1 erteilt. Eine Demonstrationsanlage hinter einer 250-MW-Gasturbine in Cottam/England erfüllt die Erwartungen. Daraufhin kommt es ab 2002 zum Abschluss von Lizenzverträgen mit zahlreichen neuen Kesselherstellern, u.a. mit Alstom, die inzwischen Sulzer und Combustion Engineering aufgekauft hat.

Als Folge des Gasturbinen-Booms kommt der Bau von Kohlekraftwerken fast zum Erliegen. In den fünf Jahren von 1995 bis 1999 werden lediglich 16 Bensonkessel bestellt. Da in den meisten Verträgen eine Zahlung der Lizenzgebühr erst nach Übergabe des Kessels an den Betreiber vorgesehen ist, kann eine finanzielle Durststrecke hinaus verzögert werden.

#### Die Zeit von 2000 bis 2005

Während China in den 90er Jahren noch zahlreiche Kohlekraftwerke importiert, werden jetzt auch die Kraftwerke großer Leistung mit ausländischer Technologie im Land hergestellt. Die Entscheidungsträger in China sind offenbar von den Vorteilen der Benson-Technologie überzeugt, so dass einige der großen chinesischen Kesselhersteller eine Benson-Unterlizenz erwerben:

Hauptlizenz	Unterlizenz
Babcock-Hitachi K. K.	Babcock-Hitachi Dongfang Boiler Co., Ltd.
Babcock & Wilcox Comp.	Babcock & Wilcox Beijing Company
Mitsui Babcock Energy Ltd.	Harbin Boiler Co., Ltd. (Technologie-Transfer-Vereinbarung für 15 Jahre)

Dadurch gelingt es, dass der Bensonkessel auch auf dem derzeit weltweit größten Markt für Kohlekraftwerke dominiert. So werden z.B. im Jahr 2003 bei diesen drei Herstellern 48 Kessel bestellt, dies entspricht einem Marktanteil in China von über 70 %. Von 2004 bis Mitte 2005 werden in China weitere 38 Bensonkessel für eine Blockleistung von 600 MW und darüber bestellt.

#### Die Zeit von 2005 bis 2018

Ein Schwerpunkt in der Unterstützung der Benson Lizenznehmer liegt in den Jahren ab 2005 in der Markteinführung von senkrechtberohrten Verdampfern mit niedrigen Massenstromdichten [128]. Wichtige Elemente des neuartigen Verdampferkonzeptes sind die sogenannte Naturumlaufcharakteristik und der Einsatz von optimierten innenberippten Rohren bei fossil gefeuerten Dampferzeugern mit hohen Wärmestromdichten in der Brennkammer bzw. die Verwendung von Glattrohren oder Standardrippenrohren bei zirkulierenden Wirbelschichtenanlagen mit niedrigen Wärmestromdichten. Für Abhitzedampferzeuger mit horizontalem Gasweg wird schon Mitte der 90er Jahre ein Konzept eines Durchlaufverdampfers mit senkrechten Heizflächenrohren und Naturumlaufcharakteristik entwickelt und patentiert.

Die erste staubgefeuerte Anlage mit Benson Low mass flux design ist der Kessel in Yaomeng 1 in China, der im Mai 2002 in Betrieb gesetzt wird. Es handelt sich um ein Umbauprojekt, bei dem große Bereiche des Druckteils ersetzt werden. Nach überaus positiven Betriebsergebnissen ordert der Kunde im Jahr 2007 den Umbau eines zweiten Blockes. Der erste Neubau mit diesem Verdampferkonzept mit einer Boxerfeuerung ist der überkritische Dampferzeuger im Projekt Longview in USA, der 2011 an den Kunden übergeben werden kann.

Eine weitere wichtige Anwendung für das Benson Low mass flux design sind Dampferzeuger zur Verfeuerung von Anthrazitkohlen und trockenem Ascheabzug. Aufgrund der komplexen Brennkammerform ist der Einsatz einer Senkrechtberohrung fast zwingend erforderlich. Das erste realisierte Projekt ist die Anlage Jinzhushan in China, die zu Beginn des Jahres 2009 in Betrieb gesetzt wird. Bis Ende 2017 sind in Summe 32 derartige Kessel für Leistungen zwischen 600 MW und 660 MW beauftragt bzw. schon in Betrieb.

Auch bei überkritischen Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht (CFB) wird die Senkrechtberohrung mit niedrigen Massenstromdichten angewendet. Die Anlage Lagisza in Polen wird zu Beginn des Jahres 2009 in Betrieb genommen und an den Kunden übergeben. Aktuell ist der Dampferzeuger in Baima, China mit einer Leistung von 600 MW die größte in Betrieb befindliche zirkulierende Wirbelschichtenanlage auf der Welt. Sie wird im April 2013 vom Betreiber übernommen. In China werden in den Folgejahren zahlreiche Projekte mit 350 MW beauftragt. Ende 2017 befinden sich in Summe 26 überkritische CFB Anlagen in der Benson-Referenzliste.

Der erste Abhitzedampferzeuger mit horizontalem Gasweg, senkrechten Heizflächenrohren und Durchlaufverdampfer wird 1999 in der Anlage Cottam, UK in Betrieb genommen. Er bleibt bis in das Jahr 2007 der einzige Abhitzedampferzeuger dieser Art. Erst in diesem und den folgenden Jahren gelingt mit den Projekten Hamm-Uentrop, Herdecke, Pego, Sloe Centrale, etc. die erfolgreiche Markteinführung dieser Technologie.

In der Zwischenzeit sind 50 Benson-Abhitzekessel dieser Bauart in Betrieb genommen und an die Kunden übergeben worden. Weitere Projekte sind bereits beauftragt und befinden sich in der Abwicklung.

Im Jahr 2012 wird in der Benson-Abteilung mit der Entwicklung eines Zwangdurchlaufverdampfers für Abhitzekessel mit vertikalem Gasweg begonnen. Basis für diese Entwicklung ist das Grundlagenpatent EP 0 993 581 A1 aus dem Jahr 1998.

Die erfolgreiche Markteinführung dieser Technologie wird durch die Beauftragung von 24 Abhitzedampferzeugern dieser Bauform hinter 400 MW-Gasturbinen im Jahr 2015 stark beschleunigt. Das Jahr 2018 ist geprägt durch die Inbetriebsetzung dieser Abhitzedampferzeuger.

## 7. Weiterentwicklung und Forschung durch Siemens

Der Name Siemens ist schon seit langem mit der Entwicklung des Kesselbaus verbunden: Friedrich August Siemens (1826 -1904), ein jüngerer Bruder des Firmengründers Werner von Siemens und Erfinder des Regenerativofens (1856), führt 1879 bei Regenerativöfen den Strahlraum ein, bei dem die Wärmeübertragung von der Flamme an die Wand nicht mehr durch Berührung, sondern durch Strahlung erfolgt. Dieses Verfahren wird auch bald im Dampfkesselbau angewendet. Im Jahr 1900 verleiht die Technische Hochschule Dresden an Friedrich August Siemens die erste Ehrendoktorwürde.

### Forschung und Entwicklung von 1925 bis 1950

Die Entwicklungsaktivitäten bei Siemens auf dem Gebiet des Bensonkessels beginnen 1925 mit der Umsetzung der Idee des Mark Benson in einen völlig neuen, konkurrenzfähigen Industriekessel für Kraftwerke, für den es kein Vorbild gibt. Schwerpunkte der damaligen Entwicklung sind

- Brennkammerberohrung
- Speisewasserchemie
- Heizflächenanordnung zur Vermeidung von Rohrschäden
- Kesselregelung

Die Entwicklungsergebnisse basieren auf theoretischen Überlegungen, Untersuchungen in den Versuchsanlagen in Berlin-Nonnendamm, der Technischen Hochschule Berlin und in Bitterfeld sowie dem Erfahrungsaustausch mit den Kraftwerken.

In der Senkrechtberohrung der Brennkammer, die aus zahlreichen hintereinander geschalteten Rohren besteht, treten infolge fehlender Entlüftung immer wieder Rohrreißer auf. Deshalb wird sie von der schraubenförmigen Rohrführung abgelöst. Diese verschmutzt jedoch derartig, dass man wieder zu der senkrechten Rohranordnung übergeht. Die Dampferrohre werden zu einzelnen Systemen zusammengefasst mit oben liegenden, entlüftbaren Austrittssammlern und hintereinander geschaltet. Die Vorteile des so genannten Steigrohr-Fallrohr-Systems sind die geringe Aufwärmspanne eines Systems und die gute Strömungsstabilität. Diese etwas aufwändige Bauweise wird lange beibehalten, weil niemand es wagt, eine durchgehende Dampferschaltung zu realisieren.

Trotz aller getroffenen Vorsichtsmaßnahmen treten bei den beiden Bensonkesseln in Berlin Gartenfeld immer wieder Rohrreißer im Endteil des Dampfers auf. Etwa um 1929 wird erkannt, dass der zu hohe Salzgehalt des Speisewassers hierfür verantwortlich ist und errichtet deshalb eine Dampferanlage zur Speisewasseraufbereitung. Durch 5 fache Verdampfung kann so ein Salzgehalt von < 10 mg/l aufrechterhalten werden und die Zahl der Rohrreißer geht drastisch zurück.

Das Problem der Salzablagerungen wird schließlich 1929/30 dadurch wesentlich entschärft, indem der Endteil des Dampfers in einem Gebiet niedriger Heizflächenbelastungen angeordnet wird. Es entsteht der so genannte Restdampfer. Zusätzlich werden die Kessel

etwa alle 14 Tage abgefahren und über die Anfahrlleitung zum Kondensator durchgespült.

Etwa um 1927 wird erstmals der Bensonkessel der TH Berlin mit unterkritischem Druck im Dampfer bei voll geöffnetem Druckhalteventil betrieben. Diese Betriebsweise bewährt sich auch bei anderen Bensonkesseln. Hans Gleichmann erkennt die Vorteile der Gleitdruck-Fahrweise für den Blockbetrieb, und er führt Anfang der 30er Jahre diese Betriebsweise in den Kraftwerksbetrieb ein. Damit erweist sich das Benson-Patent für die weitere Entwicklung als wertlos.

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt ist die Kesselregelung. Die lange Durchlaufzeit des Speisewassers etwa 2 bis 10 Minuten und der Einfluss der Speichermassen erschweren eine Konstanzhaltung der Frischdampf Temperatur außerordentlich. Erst durch die Erfindung der Nebenheizfläche Mitte der 30er Jahre können auch im Lastfolgebetrieb befriedigende Regelergebnisse erzielt werden. In einer ca. 15 m langen Rohrschlange, die im oberen Teil der Brennkammer angeordnet ist, wird die Wasseraufwärmung gemessen und als schnelles Regelsignal verwendet

Somit liegt 1935 ein in allen Punkten von Siemens durchkonstruierter, voll einsetztauglicher Bensonkessel vor. Bis in die Mitte der 50 er Jahre wird die Berohrung der Kessel stets nach dem Steigrohr-Fallrohr-System ausgeführt, bis auf Grund neuer technischer Anforderungen wieder ein schraubenförmiges bzw. mäanderförmiges Rohrsystem eingesetzt wird.

Danach entstehen weitere wichtige theoretische Arbeiten. Rupprecht Michel verfasst seine Dissertation über die optimale Speisewassertemperatur, die zu neuen Erkenntnissen in der Auslegung des Turbinenkreislaufes führen. In der Zeit bis etwa 1950 werden die Berechnungsgrundlagen für die Auslegung der Bensonkessel überwiegend der Fachliteratur entnommen und durch eigene Messungen in Kraftwerken ergänzt und verbessert. Für die Siemens-Mitarbeiter entsteht das so genannte „Kochbuch“ mit Auslegungshinweisen und Diagrammen.

### Forschung und Entwicklung von 1950 bis 1975

Mitte der fünfziger Jahre führen Mitarbeiter der Kesselabteilung und der Siemens & Halske AG im Kraftwerk Karnap gemeinsam umfangreiche Regelungsuntersuchungen durch. Die gewonnenen Erkenntnisse sichern Siemens & Halske AG einen technologischen Vorsprung vor der Konkurrenz, der viele Jahre gehalten werden kann.

Als erste grundlegende theoretische Untersuchung wird 1958 die Abhandlung über "Strömungsverhältnisse im Zwangsdurchlaufkessel" für die Benson-Lizenznehmer fertig gestellt (Elmar Kefer). Darin werden das Stabilitäts- und das Durchflussverhalten von Parallelrohrsystemen abhängig von den Parametern Massenstrom, Druck, Eintrittsenthalpie und Beheizung untersucht und Hinweise für die Auslegung von

Durchlaufverdampfern gegeben. Die aufwändigen Berechnungen werden noch mittels Rechenschieber durchgeführt.

Ab dem Ende der 50er Jahre konzentrieren sich die Siemens-Aktivitäten auf die Entwicklung neuer Kesselkonzepte und auf die Lösung konstruktiver Probleme wie

- Spiralförmige Brennkammerberohrung
- Übergang von der Mauerwerkkonstruktion auf selbst tragende, gasdichte Rohrwände, auch für Zweizugkessel
- Wirtschaftliche Anfahrssysteme
- Einbindung des Bensonkessels in kombinierte Gasturbinen/Dampfturbinen-Prozesse.

Einzelheiten zu diesen konstruktiven und verfahrenstechnischen Entwicklungsschritten werden anhand ausgeführter Anlagen in Abschnitt 8 „Meilensteine der technischen Entwicklung“ beschrieben.

Schäden an Bensonkesseln, deren Ursache nicht eindeutig geklärt werden kann, sind der Anlass zum Bau der ersten Benson-Versuchsstrecke im Siemens-Trafowerk Nürnberg. Sie wird im Jahr 1955 in Betrieb genommen. Die elektrisch beheizte Versuchsstrecke ist für einen Durchsatz von 50 kg/h und einen Dampfzustand von 400 ata/ 700 °C ausgelegt. An ihr werden Versuche zur Bestimmung des inneren Wärmeübergangs durchgeführt, die im Rahmen der begrenzten Möglichkeiten - es können nur Rohre mit einem Innendurchmesser von 5 bzw. 8 mm untersucht werden - nützliche Ergebnisse liefern. Gleichzeitig dient die Versuchsstrecke für chemische Untersuchungen. Im Frühjahr 1962 wird die Benson-Versuchsstrecke nach Erlangen in das Siemens-Forschungszentrum verlegt. Dort wird u. a. auch der Einfluss von Magnetitablagerungen auf den Wärmeübergang erforscht.

Mitte der 60er Jahre wechselt ein Mitarbeiter der Siemens-Kesselabteilung, Peter Mörk, zu EURATOM nach Ispra/Italien und baut dort eine Versuchsanlage für den inneren Wärmeübergang und Druckverlust in Rohren auf. Die dort erzielten Messergebnisse an Rohren mit 10 und 20 mm Innendurchmesser werden von Siemens ausgewertet. Sie bilden gemeinsam mit den Ergebnissen der Siemens-Forschung die Basis für das Sachgebiet "Innerer Wärmeübergang und Druckverlust in Rohren", auf dem Siemens später weltweit führend wird.

Von 1971 bis 1974 wird gemeinsam mit Siemens Karlsruhe ein Regelhandbuch entwickelt. Es enthält Hinweise für die Konzeption und die Auslegung von Bensonkesseln, um vorgegebene Regelanforderungen optimal erfüllen zu können.

#### Forschung und Entwicklung von 1975 bis 2003

1971 wollen die deutschen Lizenznehmer die Benson-Lizenz auslaufen lassen, da sie glauben, ohne Siemens-Know-how Bensonkessel bauen zu können. In den Verhandlungen mit den deutschen Lizenznehmern schlägt Siemens eine Intensivierung der Forschung und Entwicklung vor und

erreicht damit den Abschluss neuer Verträge zu einigermaßen akzeptablen Bedingungen. Diese Verträge leiten eine völlig neue Phase der Benson-Lizenz ein: Siemens definiert Forschungsvorhaben und stimmt diese mit den Lizenznehmern ab.

Die Vertragsverhandlungen im Jahr 1971 führen zum Bau der zweiten Benson-Versuchsstrecke im Erlanger Siemens-Südgelände. Auslegungsdaten:

Druck	330	bar
Temperatur	600	°C
Massenstrom	4	kg/s
Elektrische Heizleistung	2,000	kW

Für diesen Hochdruckkreislauf werden eine neue Versuchshalle und ein Laborgebäude errichtet (Bau 64), in denen auf einer Fläche von 470 m<sup>2</sup> neben den Hilfsanlagen, wie die Vollentsalzungsanlage und die Stromversorgung, auch kleinere Versuchsanlagen untergebracht sind. Die Kosten für den Bau der Versuchsanlage (ohne Gebäude) betragen DM 3'346.000, sie werden aus den Einnahmen der Benson-Lizenz bezahlt.

Bei der Konzeption der Anlage stehen drei Entwicklungsschwerpunkte im Vordergrund:

- Erarbeiten von Auslegungsgrundlagen zum Wärmeübergang und zu Strömungsvorgängen
- Erprobung und Weiterentwicklung von Konstruktionselementen
- Untersuchungen zu Fragen der Speisewasserchemie im Hinblick auf Bildung und Erhaltung von Schutzschichten

Mit den Untersuchungen an der Benson Versuchsstrecke wird Siemens auf einigen Gebieten bald weltweit führend. Wesentliche Ergebnisse sind:

- Innerer Wärmeübergang in Rohren: Auf der Basis von mehr als 148.000 Messungen an Glattrohren (Innendurchmesser 12,5 bis 24,3 mm, Stand Ende 2004) in einem großen Parameterbereich werden erstmals physikalisch fundierte Zusammenhänge zur Vorausberechnung des Wärmeübergangs im Zweiphasengebiet entwickelt und damit neue Auslegungsgrundlagen für Verdampferheizflächen geschaffen. Neu ist auch der Einfluss dynamischer Vorgänge (Druckänderung) auf den Wärmeübergang.

Angeregt durch den Einsatz von innenberippten Rohren in den USA und in Japan beginnen Anfang der 80er Jahre die Untersuchungen mit diesem Rohrtyp. Es gelingt durch Optimierung der Rippengeometrie den inneren Wärmeübergang um 30 % zu erhöhen. Bis Ende 2004 werden mehr als 243.000 Messungen an innenberippten Rohren (Innendurchmesser 13 bis 35 mm) durchgeführt. Auch auf diesem Gebiet setzt sich Siemens an die Spitze der weltweiten Forschung, zahlreiche Rohrhersteller übernehmen die optimierte Rippengeometrie. Die Ergebnisse werden den Lizenznehmern in dem ständig

aktualisierten Handbuch „Wärmeübergang in Rohren“ zur Verfügung gestellt.

- Druckverlust in Rohren: Parallel zu den Wärmeübergangsmessungen wird der Einfluss der Beheizung auf den Druckverlust festgestellt. In einer "Kaltwasserstrecke" werden Druckverlustmessungen mit Rohren mit längerer Lagerzeit, die während der Versuchsdauer wiederholt gebeizt werden, durchgeführt, um Druckverluständerungen für in Betrieb befindliche Dampferzeuger und mögliche Einflüsse auf die Durchflusscharakteristik abschätzen zu können. Mit der gleichen Versuchsanordnung werden Widerstandbeiwerte von Drosseln ermittelt. Die Ergebnisse werden den Lizenznehmern in dem Handbuch „Druckverlust in Rohren“ zur Verfügung gestellt.

- Wasser-Dampf-Gemische: Versuche mit Wasser-Dampf Gemischen zur Gemischtrennung oder zur gleichmäßigen Gemischverteilung sind aufwändig und messtechnisch problematisch, deshalb erfolgen die Versuche mit Wasser-Luft-Gemischen. Besonders hervorzuheben ist die Entwicklung eines Fliehkraftabscheiders einfacher Bauart mit hohem Abscheidewirkungsgrad, der im Anfahr- und Schwachlastsystem angeordnet ist. Leider wird versäumt, Patentschutz anzumelden, so dass dieser Abscheider schon bald weltweit nachgebaut wird. Auch der von Siemens entwickelte Prallplattenverteiler zur gleichmäßigen Verteilung von Dampf-Wasser-Gemisch bewährt sich vielfach in der Praxis.

- Konstruktionselemente: Die Verlagerung der konventionellen Kraftwerke vom Grundlast- in den Mittellasteinsatz erfordert wärmeelastische Dampferzeuger. In der Benson-Versuchsstrecke wird dafür die Temperaturverteilung in Kammbleden und Tragbändern, die in unterschiedlicher Weise mit einer Membranwand verschweißt sind, bei instationärem Temperaturverhalten gemessen. Vergleichende Rechnungen mittels der Finite-Element-Methode geben Aufschluss über den Wärmeübergang durch Strahlung oder Berührung an nicht verschweißten Stellen und konstruktionsbedingten Spalten. Damit werden Randbedingungen und Hinweise erarbeitet, um wärmeelastische Tragbandkonstruktion für die Brennkammerwicklung zu bauen. Auf der Basis dieser Unterlagen entwickelt Siemens gemeinsam mit dem Lizenznehmer Balcke-Dürr eine besonders wärmeelastische Doppelband-Aufhängung, auf die ein Patent erteilt wird. Der Durchlaufkessel-Konkurrent Sulzer benutzt dieses Patent und verliert einen von Siemens angestrebten Patentprozess.

- Erosionskorrosion und Speisewasserchemie: Schäden im Vorwärmer- und Leitungsbereich in Kernkraftwerken durch Erosionskorrosion führen zu umfangreichen Untersuchungen dieses Phänomens an der Benson Versuchsstrecke. Die Ergebnisse sind auch für die Benson Lizenznehmer interessant: Ein hoher Chromgehalt bei Drosseln und bei Wasser-Dampf Trenngefäßen vermindert drastisch die Abtragungsraten.

Die wissenschaftliche Bedeutung der Arbeiten an den Benson-Versuchsstrecken zeigt sich an den zahlreichen Dissertationen, die auf Untersuchungen an diesen Anlagen basieren.

Name	Jahr	Titel
Blank, Günter	1963	Messungen von Enthalpiedifferenzen des Wasserdampfes bei Drücken von 100 bis 400 bar und Temperaturen von 400 bis 700 Grad Celsius
Thomas, Dieter	1974	Experimentelle Untersuchung über die Ablagerung von suspendiertem Magnetit bei Rohrströmungen in Dampferzeugern und über den Einfluss der Magnetitablagerungen auf den Wärmeübergang
Hein, Dietmar	1980	Modellvorstellungen zum Wiederbenetzen durch Fluten
Köhler, Wolfgang	1984	Einfluss des Benetzungszustandes der Heizfläche auf Wärmeübergang und Druckverlust in einem Verdampferrohr
Kefer, Volker	1989	Strömungsformen und Wärmeübergang in Verdampferrohren unterschiedlicher Neigung
Zheng, Qinghao	1991	Reibungsdruckverlust von Gas/Flüssigkeitsströmungen in glatten und innenberippten Rohren
Griem, Harald	1995	Untersuchungen zur Thermohydraulik innenberippter Verdampferrohre

Die Abstimmung der Forschungsvorhaben mit den Lizenznehmern erfolgt auf den jährlich stattfindenden Lizenznehmer-Tagungen, die 1975 eingeführt werden. Dort werden den Lizenznehmern die neuesten Forschungs- und Entwicklungsergebnisse, insbesondere von der Benson-Versuchsstrecke, vorgetragen und Erfahrungen/Probleme ausgetauscht. Außerdem werden die zukünftigen Vorhaben vorgestellt und diskutiert. Die Vorträge werden anschließend in FuE-Jahresberichten zusammengestellt.

Zunächst finden diese Lizenznehmer-Tagungen nur in Erlangen mit deutschsprachigen Teilnehmern statt. Mit zunehmendem Interesse der ausländischen Lizenznehmer werden die jährliche Information und der Erfahrungsaustausch ab Mitte der 90er Jahre auf Großbritannien, Japan und die USA ausgedehnt.

Der Schwerpunkt der Weiterentwicklung und Forschung liegt auf dem Sachgebiet „Innerer Wärmeübergang und Druckverlust in Rohren“:

● Innerer Wärmeübergang in Rohren	25.5%
● Druckverlust in Rohre	12.1%
● Stömungsverhältnisse in Parallelrohrsystemen	10.8%
● Simulation des dynamischen Verhaltens	7.6%
● Kessel- und Kraftwerkskonzepte	7.6%
● Konstruktion	7.0%
● Sonstiges	ca. 30.0%

Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre wird die Trennung von KWU F (fossil befeuerte Kraftwerke) und KWU R (Reaktorabteilung) vorbereitet, in die auch die Versuchseinrichtungen auf dem Südgelände in Erlangen einbezogen werden sollen. In diesem Zusammenhang schlägt die F-Leitung vor, die BENSON-Versuchsstrecke in das Mülheimer Werk zu verlegen. Dies scheitert jedoch am Einspruch der Kesselabteilung, da dieser Vorschlag nicht nur zu sozialen Problemen (Umzug von Mitarbeitern) und beträchtlichen Kosten führen würde, sondern für die Benson-Lizenz aufgrund der dann erschwerten Verbindung von Versuch und Anwendung erhebliche Nachteile gebracht hätte.

Ende der 70er Jahre entwickelt Siemens ein Kesselauslegungs- und Nachrechenprogramm, das zunächst intern zur Lizenznehmerberatung eingesetzt wird. In Deutschland besitzt nur noch Babcock ein ähnliches Computerprogramm. Steinmüller entscheidet sich, mit dem Siemens Programm zu rechnen. In den 80er Jahren entsteht dann eine völlig neue Programmfamilie für die Auslegung von Kesseln, die von der Brennkammerberechnung bis zur Ermittlung des inneren Wärmeübergangs in den Rohren auf dem neuesten Stand des Wissens basiert. Die Programme DEFOS für fossil beheizte Dampferzeuger und DEFA für Abhitze-Dampferzeuger werden im Rahmen der Lizenzverträge von mehreren Kesselherstellern benutzt. Mit weiteren Auslegungsprogrammen verfügt Siemens bald - mit Ausnahme von Festigkeitsprogrammen - über zumindest ebenbürtige Computerprogramme wie die erfahrenen Kesselhersteller.

Da alle bisher bekannten Regelungstheorien für Dampferzeuger auf linearen mathematischen Modellen aufbauen, die Vorgänge im Dampferzeuger jedoch nach nichtlinearen Abhängigkeiten verlaufen, wird 1976 beschlossen, ein nichtlineares Modell zur Dampferzeugerdynamik zu entwickeln. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit Lizenznehmern (vor allem Steinmüller), Siemens Karlsruhe und der Universität Karlsruhe unter Federführung der Kesselabteilung. Joachim Franke verfasst über dieses Thema seine Dissertation „Untersuchung der hydrodynamischen Stabilität von Verdampferheizflächen mit Hilfe nichtlinearer Simulation“. Ende 1981 ist die grundlegende Modellentwicklung beendet. Es entstehen neue Regelkonzepte für Bensonkessel mit verbesserter Regelgüte. Das zukunftsweisende Modellkonzept wird 1987 durch die Verleihung des Heinrich-Mandel-Preises der Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e. V. an Joachim Franke öffentlich gewürdigt.

Das nichtlineare Dynamikmodell wird in der Folgezeit laufend erweitert, es entsteht eine Programmfamilie mit

DYNAPLANT für die Simulation der Kraftwerksdynamik und DYNASTAB für Stabilitätsuntersuchungen von Parallelrohrsystemen.

Die 90er Jahre sind durch zahlreiche Innovationen gekennzeichnet, vor allem auf dem Gebiet der Verdampferauslegung: Die Zahl der Patentanmeldungen verdoppelt sich gegenüber den vorhergehenden Dekaden.

1990 wird ein Patent (EP 0 439 765 B1) für einen Bensonkessel mit überlagertem Umlauf angemeldet. 1992 werden dazu Umlaufversuche mit einer senkrecht berohrten Versuchswand im Kraftwerk Oslavany/Slowakei durchgeführt. Die von Siemens finanzierten Versuche bestätigen die theoretischen Untersuchungen. Diese Technologie ermöglicht z.B. den kostengünstigen Umbau bestehender unterkritischer Trommel- zu Durchlaufkesseln.

Der Bau senkrecht berohrter Sulzerkessel mit einer Leistung von 700 MW in Japan durch Mitsubishi löst bei Siemens Überlegungen aus, auf der Basis der Messungen an innenberippten Rohren ein ähnliches Konzept zu entwickeln. Als Ergebnis entsteht eine Verdampferauslegung im so genannten „Low mass flux design“ (Patent EP 0 581 760 B2). Die Massenstromdichten sind so niedrig, dass eine Mehrbeheizung einzelner Rohre einen höheren Durchsatz durch dieselben bewirkt. Versuche in der Brennkammer des überkritischen 350-MW-Bensonkessels Farge, die 1993 gemeinsam mit Babcock und Steinmüller durchgeführt werden, bestätigen diese Naturumlaufcharakteristik. Aufgrund der mangelnden Risikobereitschaft der deutschen Lizenznehmer dauert es bis zum Jahr 2000, bevor die britische Mitsui Babcock die erste senkrecht berohrte Brennkammer baut (Kraftwerk Yaomeng/China).

Das Low mass flux design stößt weltweit auf großes Interesse: Ein langwieriger Patentstreit mit Sulzer/ABB/Alstom kann erst 2001 zugunsten von Siemens beendet werden. Dieses Patent trägt entscheidend dazu bei, dass mit Ansaldo und Foster Wheeler neue Lizenznehmer gewonnen und die Lizenzverträge mit Babcock USA und Babcock-Hitachi verlängert werden.

In den 90er Jahren beginnt ein Gasturbinen-Boom. Für die horizontalen Abhitzeessel der Gasturbinen-Dampfturbinen-Kraftwerke werden fast ausschließlich Natur- und Zwangumlaufsysteme eingesetzt. 1997 entwickelt Siemens einen horizontalen Abhitze-Bensonkessel, dessen wasserseitig parallel und abgasseitig hintereinander geschalteten Verdampferrohre trotz unterschiedlicher Beheizung nahezu den gleichen Dampfaustrittszustand besitzen (Patent EP 0 944 801 B1). Zahlreiche Hersteller von Abhitzeesseln nehmen eine Patentlizenz - sogar der Durchlaufkessel-Konkurrent Alstom.

Eine weitere wesentliche Entwicklung ist der fossil befeuerte Kessel mit einer liegenden Brennkammer (Patent EP 1 086 339 B1). Seine Vorteile liegen in der Kosteneinsparung bei Kesselgerüst, Montage und Verbindungsleitungen zwischen Kessel und Turbine sowie in

der Wartungsfreundlichkeit. Dieses Konzept stößt auf großes Interesse bei dem Forschungsvorhaben „700-°C-Kraftwerk“.

Ende 2004 wird Joachim Franke als „Erfinder des Jahres“ für seinen Beitrag zur „Erfolgsgeschichte des Bensonkessels“ ausgezeichnet. Damit wird auch die seit den 90er Jahren zunehmende Innovationstätigkeit der Kesselabteilung und der daraus resultierende wirtschaftliche Erfolg von der Firmenleitung anerkannt und der Öffentlichkeit deutlich gemacht.

#### Forschung und Entwicklung von 2004 bis 2018

In dem Benson Labor in Erlangen werden weitere Rohrversuche durchgeführt, um die letzten Lücken im Wissen zu Wärmeübergängen und Druckverlusten in Glattrohren und innenberippten Rohren zu schließen.

Untersucht werden in umfangreichen Testserien die Wärmeübergänge in Glattrohren in einer für eine Spiralberohrung typischen Neigung von 18° zur Horizontalen mit einseitiger, seitlicher Beheizung, eine Anordnung eines Trichterrohres mit 45° Neigung und einseitiger, von oben kommender Beheizung und in einem senkrecht angeordneten Rohr mit kleinsten Massenstromdichten.

Versuche mit einem hochoptimierten innenberippten Rohr und Untersuchungen des Wärmeübergangs- und Druckverlustes in Glattrohren mit Einbaukörpern runden die Testserien ab. In Summe liegen Ende 2017 über 307.000 Messungen des Wärmeübergangs- und Druckverlustes in Glattrohren und mehr als 285.000 Messungen an innenberippten Rohren vor.

Die oben genannten Einbaukörper sind ebenfalls eine unter der Benson-Lizenz entstandene Entwicklung. Der Drall auf der Wasserseite wird dabei durch Drahtwendeln erzeugt, die in ein Glattrohr eingebracht werden. Der wesentliche Vorteil dabei ist, dass der Kaltziehprozess zur Herstellung der Innenrippen umgangen wird. Kalt gezogene Rippen können nur in Materialien mit einem Chromgehalt von maximal 5% hergestellt werden. Die Einbaukörper können in Glattrohre aus beliebigem Material eingebracht werden und führen zu einem inneren Wärmeübergang, der dem eines optimierten innenberippten Rohres gleicht.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in Untersuchungen zur dynamischen Stabilität der Verdampferströmung. Ab 2014 werden in einem Testaufbau mit drei parallel geschalteten senkrechten Glattrohren Untersuchungen zur dynamischen Stabilität durchgeführt. Mit dem Aufbau ist es weltweit erstmalig gelungen, dynamische Instabilitäten in senkrecht angeordneten, beheizten Rohren mit einer für Benson Verdampfer typischen Geometrie unter Laborbedingungen reproduzierbar zu erzeugen und zu beobachten. Ziel der Versuche ist, eine zunächst stabile Strömung in den Rohren durch Veränderung eines Parameters zu destabilisieren und eine dauerhafte Massenstromoszillation zu erzeugen. In zahlreichen Messperioden wird diese Stabilitätsschwelle unter Variation der Parameter Druck, Massenstromdichte, Eintrittsunterkühlung und Austrittsüberhitzung untersucht.

Die Ergebnisse aus den Versuchen werden für eine weitere Validierung der Programme zur dynamischen Stabilität verwendet.

Alle Benson Programme erhalten zeitgemäße Oberflächen und die Software Landschaft wird erweitert. Aus dem Programm Stade zur Berechnung des Druckverlustes in Einzelrohren entsteht das Programm StadeNet zur Berechnung des Druckverlustes und der Strömungsverteilung in Parallelrohrsystemen.

Eine weitere wichtige Entwicklung ist das Programm Wathan zur Berechnung von Spannungen und der Temperaturverteilung in Verdampferwänden. Der Code führt für jede beliebige Geometrie von Flosse und Rohr und jede betriebliche Randbedingung automatisiert eine OpenFOAM Rechnung (Finite-Volumen-Methode) durch.

Im Bereich der Abhitzedampferzeuger werden die Formeln zur Berechnung von Druckverlust und Wärmeübergang in das Programm KRAWAL integriert. Das Programm Dynaplant<sup>BENSON</sup> entsteht aus dem ursprünglichen Dynaplant. Beide Programme werden zusammen mit umfangreichen Auslegungshandbüchern im Rahmen der Benson-Lizenz für Abhitzedampferzeuger an Lizenznehmer übergeben.

Im Bereich der Benson-Abhitzedampferzeuger bekommt die Entwicklung von geeigneten Regelungskonzepten zunehmendes Gewicht, was sich auch in zahlreichen Patenten niederschlägt.

#### **8. Meilensteine der technischen Entwicklung**

Siemens hat mit dem Bensonkessel in der Kesselentwicklung und darüber hinaus in der Kraftwerksentwicklung weltweit zahlreiche Meilensteine gesetzt:

- |      |  |
|------|--|
| 1926 | Weltweit erster industrieller Durchlaufkessel im Siemens-Kraftwerk Berlin-Gartenfeld mit Kohlenstaubfeuerung als Turmkessel in Freiluftbauweise. Dampfleistung 30 t/h, 180 bar/450 °C, Hersteller: Siemens               |
| 1926 | Erstmaliger Betrieb eines Bensonkessels mit unterkritischem Druck mit dem Versuchskessel der Technischen Hochschule Berlin   |
| 1927 | Einführung der Brennkammer-Schraubenwicklung in den Kesselbau bei dem Bensonkessel 2 im Siemens-Kraftwerk Berlin-Gartenfeld. Dampfleistung 37,5 t/h, 190 bar/465 °C, Hersteller: Siemens                                 |
| 1929 | Weltweit erster Schiffs-Bensonkessel auf der MS Uckermark. Dampfleistung 24 t/h, Druck im Verdampfer 225 bar, Überhitzer Austritt 70 bar/445 °C. Der Kessel wird 1934 auf unterkritischen Druck im Verdampfer umgestellt |
| 1929 | Weltweit erster Durchlaufkessel großer Leistung im Kraftwerk Langerbrügge/Belgien, er gehörte zu den größten Anlagen seiner Zeit. Dampfleistung 125 t/h, 190 bar/470/470 °C, Hersteller: Siemens                         |



- 1933 Einführung des Gleitdruckbetriebes durch Hans Gleichmann
- 1949 Weltweit erster Durchlaufkessel mit höchster Dampftemperatur 610 °C in einem Kraftwerk der IG Farben in Leverkusen. Dampfleistung 125 t/h, 160 bar/610 °C, Hersteller: Dürrwerke
- 1954 Weltweit erster Durchlaufkessel (Benson) mit höchstem Dampfzustand 300 bar/ 605 °C und doppelter Zwischenüberhitzung 565/565 °C in den Chemischen Werken Hüls. Dampfleistung 250 t/h. Hersteller: Dürrwerke
- 1954 Weltweit erste Durchlaufkessel für zwei Blockanlagen mit je 150 MW im RWE-Kraftwerk Fortuna. Dampfleistung 2 x 450 t/h, 181 bar/530/530 °C, Hersteller: Steinmüller/Walther
- 1956 Erster Bensonkessel (UP) mit gasdicht verschweißten Wänden im KW Breed der American Electric Power Corp.. Dampfleistung 1.350 t/h, 181 bar/ 565/565/565 °C, Hersteller: Babcock USA
- 1960 Weltweit erster mauerwerksloser Durchlaufkessel mit gasdicht verschweißter Stufenwicklung in der Brennkammer im Kraftwerk Drakelow C/England. Dampfleistung 1.350 t/h, 255 bar/600/568 °C, Hersteller; Babcock London. Diese Konstruktion bleibt ein Unikat
- 1960 Weltweit erster mauerwerksloser Durchlaufkessel mit Schraubenwicklung (Skin-casing) im Kraftwerk Civitavecchia/Italien. Dampfleistung 660 t/h, 210 bar/ 540/540 °C, Hersteller: Ansaldo
- 1962 Weltweit erster Durchlaufkessel in einem kohlebefeuertem Kombiblock im Kraftwerk Hohe Wand/Österreich. Dampfleistung 215 t/h, 180 bar/535/535 °C, Hersteller: Waagner-Biro
- 1962 Weltweit erster Durchlaufkessel in einem CO<sub>2</sub>-gekühlten Kernkraftwerk in Oldsbury/England, Dampfleistung 1.400 t/h, 105 bar/393/393 °C, Hersteller: Clark, Chapman
- 1963 Weltweit erster ölbefuerter Durchlaufkessel mit gasdicht verschweißter Schraubenwicklung im Kraftwerk Rodiaceta, Dampfleistung 90 t/h, 115 bar/530 °C, Hersteller: VKW
- 1963 Erster Bensonkessel großer Leistung in Japan im Kraftwerk Tokyo Denryoku, Dampfleistung 590 t/h, 190 bar/543/540 °C. Hersteller: Yokoyama
- 1964 Erster 1000-t/h-Kessel in Deutschland im Kraftwerk Frimmersdorf, 190 bar/ 530/530 °C, Hersteller: Deutsche Babcock mit Buckau R. Wolf (Sulzer-Lizenznehmer)
- 1966 Weltweit erster kohlebefeuerter Durchlaufkessel mit gasdicht verschweißten Schraubenwicklung in Zweizugbauweise im Kraftwerk Farge, Dampfleistung 930 t/h, 250 bar/545/545 °C, Hersteller: Deutsche Babcock
- 1968 Weltweit größte Durchlaufkessel (UP) für die beiden kohlebefeuernten 1.300-MW-Blöcke im Kraftwerk Cumberland/USA, Dampfleistung je x 4.540 t/h (10.000 lb/hr), 240 bar/540/540 °C. Hersteller: Babcock USA
- 1969 Weltweit erster Durchlaufkessel großer Leistung mit einem rauchgasseitigen Überdruck von 7 bar im Kraftwerk Lünen. Die Heizflächen des Kessels sind in den beiden Brennkammern einer Gasturbine angeordnet. Dampfleistung 312 t/h, 135 bar/525 °C, Hersteller: Dürrwerke
- 1970 RWE entscheidet, für die sechs weltweit größten Braunkohleblöcke in den Kraftwerken Neurath, Niederaußem und Weisweiler Bensonkessel einzusetzen. Höhe der Kessel: 110 m bei einem Feuerraumquerschnitt von 20 x 20 m. Dampfleistung je 1.870 t/h, 175 bar/530/530 °C, Hersteller: Borsig, Deutsche Babcock, Dürrwerke, MAN, Steinmüller, VKW und Walther
- 1970 Bensonkessel für die sechs weltweit größten erdgasbefeuernten Kombiblocke in den Kraftwerken Gersteinwerk und Lingen. Die Abgase einer 50-MW-Gasturbine dienen jeweils als Sauerstoffträger (18 % O<sub>2</sub>) für einen Kessel. Dampfleistung 6 x 1.032 t/h, 190 bar/535/535 °C, Hersteller: Dürrwerke und Steinmüller
- 1971 Bensonkessel für die beiden größten ölbefeuerten Blöcke Europas im Kraftwerk Scholven, Dampfleistung 2 x 2.120 t/h, 200 bar/530/530 °C. Hersteller: Borsig und Steinmüller
- 1972 Bensonkessel für den größten kohlenstaubbefeuerten Block Europas im Kraftwerk Wilhelmshaven (720 MW), Dampfleistung 2.170 t/h, 190 bar/530/530 °C, Hersteller: Deutsche Babcock
- 1982 Weltweit erster Durchlaufkessel mit Wirbelschichtfeuerung im Heizkraftwerk Duisburg, Dampfleistung 265 t/h, 160 bar/535/535 °C, Hersteller: Deutsche Babcock
- 1999 Weltweit erster Durchlauf-Abhitzekeessel mit Senkrechtberohrung und Naturumlauf-Charakteristik im Kraftwerk Cottam/England. Dampfleistung 315 t/h, 190 bar/580 °C, Hersteller: Deutsche Babcock
- 2000 1000. Bensonkessel in Auftrag genommen
- 2002 Weltweit erster Durchlaufkessel mit Senkrechtberohrung und Naturumlauf-Charakteristik im Kraftwerk Yaomeng/China. Dampfleistung 936 t/h, 190 bar/540/540 °C, Hersteller: Mitsui Babcock
- 2003 Weltweit erster überkritischer Durchlaufkessel mit Wirbelschichtfeuerung und Naturumlauf-Charakteristik im Kraftwerk Lagisza/Polen. Dampfleistung 1.295 t/h, 275 bar/560/580 °C,

Hersteller: Foster Wheeler

- 2007 Auftrag für den ersten überkritischen Bensonkessel mit Senkrechtberohrung in Longview, USA.  
Erste Aufträge für überkritische Bensonkessel mit Senkrechtberohrung zur Verfeuerung von Anthrazitkohle in China.
- 2013 Inbetriebnahme des weltweit größten überkritischen Dampferzeugers mit zirkulierender Wirbelschicht in Baima, China mit 600 MW
- 2014 Erfolgreiche Messungen von dynamischen Instabilitäten in einem Dreirohrversuch im Benson Labor in Erlangen
- 2018 Inbetriebnahme der ersten Benson Abhitzeessel mit vertikalem Gaspfad in den Megaprojekten in Ägypten

## 9. Verbreitung des Bensonkessels in der Welt

Der Bensonkessel hat sich nach dem 2. Weltkrieg rasch in der ganzen Welt verbreitet wie die Tabelle zeigt:

Jahr	Land	Kraftwerk	Leistung (t/h)	Hersteller
1929	Belgien	Langerbrügge	125	Siemens
1939	Italien	Genua	25	Ansaldo
1940	CSSR	Banska Hutni Trinec	62	Walther
1954	Japan	Makiyama Works	75	Yokoyama
1954	USA	Philo	306	Babcock & Wilcox
1955	Österreich	St. Andrä	330	SGP
1956	Großbritannien	Margam	110	Simon-Carves
1956	Niederlande	Buggenum	280	Stork
1957	Dänemark	Asnaesvaerket	400	Burmeister & Wain
1957	Polen	Blachownia	240	SGP
1958	Spanien	Las Palmas	8	Deutsche Babcock
1964	Rumänien	Fintinele	400	Dürrwerke
1966	Korea	Pusan	400	Dürrwerke
1967	Philippinen	Gardner	742	Babcock-Hitachi
1967	Yugoslawien	Sostanj	860	Deutsche Babcock
1969	Finnland	Vaskiluoto	510	VKW
1971	Irland	Tabert	800	MAN
1971	Südafrika	Kriel	1.585	Steinmüller
1971	Schweden	Uppsala	700	Burmeister & Wain
1972	Argentinien	Sorrento B	515	Babcock London
1974	Taiwan	Kaohsiung	245	Kawasaki
1974	Türkei	Afsin-Elbistan	1.020	VKW/Dt. Babcock
1975	Iran	Mazandaran	1.410	Deutsche Babcock
1978	Australien	Northern Power Station	990	VKW
1979	China	Yuan Bao Shan	1.845	Steinmüller
1981	Brasilien	Jorge Lacerda	1.000	Deutsche Babcock
1984	Griechenland	Megalopolis	910	VKW
2000	Indien	Neyveli	735	AE & E

### Bensonkessel in den USA

Die mittlere Leistung der fossilbefeuerten Blöcke steigt in den 60er und 70er Jahren stark an, und zwar von ca. 200 MW (1960) auf 600 MW (1970). 1967 wird der erste 1.300-MW-Block bestellt. Für diese Leistungssteigerung bietet sich eine Auslegung für überkritischen Druck an, um die Durchmesser der Sammler, Leitungen, Armaturen und Turbinengehäuse nicht so stark wachsen zu lassen.

Die maximale Blockleistung steigt von 700 MW (1961) alle zwei Jahre um 200 MW bis auf 1.300 MW (1967). Dadurch ist es nicht möglich, Betriebserfahrungen für die jeweils

nächste Blockgröße zu berücksichtigen. Das Resultat ist ein drastischer Einbruch der Verfügbarkeit der überkritischen Blöcke, die Wirtschaftlichkeit sinkt gegenüber den unterkritischen Blöcken ab. Die niedrige Verfügbarkeit wird nach Meinung der Fachwelt nicht durch die Durchlauftechnologie verursacht, sondern durch andere, vor allem feuerungstechnische Gründe:

- Unterdimensionierte Brennkammern mit sehr hohen Brennergürtelbelastungen führen zu starken Verschlackungen insbesondere bei den Kohlen aus dem mittleren Westen

- Der Übergang auf Druckfeuerung auch bei kohlebefeueren Kesseln zwingt zum Abstellen der Anlage bei schon bei kleinen Undichtheiten in den Umfassungswänden
- Hohe Dampftemperaturen von 566 °C und doppelte Zwischenüberhitzung erfordern komplexe Anfahrssysteme und lange Anfahrzeiten
- Der Festdruckbetrieb beansprucht die Turbinenventile und führt zu Wartungsproblemen

Die Betreiber wenden sich deshalb wieder unterkritischen Blöcken mit Trommelkesseln zu, so dass dieser Kraftwerkstyp in den 70er Jahren bei Neubestellungen auf einen Anteil von 35 auf über 80 % steigt.

Bis 2005 werden in den USA 147 UP-Kessel gebaut, der Bensonkessel europäischer Bauart mit Schraubenwicklung und Gleitdruckbetrieb kann in den USA jedoch nicht Fuß fassen.

#### Bensonkessel in Japan

Die amerikanischen Kesselhersteller führen Anfang der 60er Jahre den überkritischen Durchlaufkessel amerikanischer Bauart ein:

- Babcock & Wilcox Comp. den UP-Boiler mit Babcock-Hitachi K. K. als Lizenznehmer. Es werden 24 UP-Boiler gebaut, davon die meisten mit Gas- oder Ölfeuerung.
- Combustion Engineering Inc. den Combined-Circulation-Boiler mit Mitsubishi Heavy Industries Ltd. als Lizenznehmer und
- Foster Wheeler Corp. den Multi-Pass-Boiler mit Ishikawajima Harima Heavy Industries Co., Ltd. als Lizenznehmer.

Mit der Zunahme der Kernkraftwerke werden die fossilbefeueren Kraftwerke in den Mittellastbereich abgedrängt. Dafür sind die Kraftwerke amerikanischer Bauart, die mit Festdruck betrieben werden und lange Anfahrzeiten benötigen, jedoch wenig geeignet. Mit dem erfolgreichen Betrieb des ersten überkritischen Bensonkessels mit Schraubenwicklung und Gleitdruckbetrieb Mitte der 70er Jahre im Kraftwerk Ohi der Tokyo Electric Power wächst das Interesse in Japan an der europäischen Kraftwerkstechnik, und so kommt es ab Anfang der 80er Jahre, unterstützt durch Siemens-Akquisition, zu einem Durchbruch des Bensonkessels.

#### Bensonkessel in China

Steinmüller baut 1979 den ersten Bensonkessel in China im Kraftwerk Yuan Bao Shan. Nach mehrjährigen Anlaufschwierigkeiten, die u. a. durch den Einsatz von Kohlen außerhalb des vereinbarten Kohlebandes und mangelnde Qualität des nichtdeutschen Lieferanteils verursacht werden, erreicht dieser Kessel Mitte der 90er Jahre die höchste Verfügbarkeit aller vergleichbaren Anlagen in China.

Nachdem Deutsche Babcock und Steinmüller in den 90er Jahren weitere Aufträge auf Bensonkessel mit mittleren Leistungen erhalten, verlangt die rasche Industrialisierung Chinas den Bau zahlreicher Kohlekraftwerke großer

Leistung. Die Entscheidung bei den neuen Kraftwerken fällt auf europäische Technik: Durchlaufkessel mit Schraubenwicklung, Gleitdruckbetrieb, wirtschaftliche Anfahrssysteme. Mit den chinesischen Unterlizenznehmern Babcock-Hitachi Dongfang Boiler Co., Ltd., Babcock & Wilcox Beijing Company, Harbin Boiler Co., Ltd. und der Direktlizenz an Dongfang Boiler Group Co. Ltd. dominiert auch der Bensonkessel in China.

#### **10. Schiffs-Bensonkessel**

Der Bensonkessel bewährt sich auch als Schiffskessel. Auf der MS Uckermark wird 1929 erstmals ein Steigrohr-Fallrohr-System eingesetzt, das bis Anfang der 60er Jahre die bevorzugte Verdampferkonstruktion bleiben wird.

Zusätzlich zu den 20 in der Benson-Referenzliste genannten Einheiten für Handelsschiffe mit einer Gesamtdampfleistung von 192 kg/s ([23], [26], [34], [44], [48], [50], [52], [80]) werden mehr als 60 Bensonkessel auf Schiffen der deutschen Kriegsmarine eingesetzt. Die Zahl der nachweisbar gebauten Bensonkessel für Schiffe der deutschen Kriegsmarine (alle Kessel besitzen Ölfeuerung) basiert auf zwei Schriftquellen ([44], [63])

Schiff	Jahr	Hersteller	Dampfleistung t/h	p bar	T °C	Quelle
Zerstörer Z9 Wolfg. Zenker	1934	Germania werft	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z10 Hans Lody	1934	Germania werft	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z11 Bernd von Arnim	1935	Germania werft	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z12 Erich Giese	1935	Germania werft	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z13 Erich Koellner	1935	Germania werft	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z14 Friedrich Ihn	1935	Blohm +Voss	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z15 Erich Steinbrinck	1935	Blohm +Voss	6 x 35	138	450	[46], [66]
Zerstörer Z16 Friedrich Eckoldt	1935	Blohm +Voss	6 x 35	138	450	[46], [66]
Geleitboot F7	1934	Blohm +Voss	2 Kessel			[46], [66]
Geleitboote F7 (zusätzlich)	1934	Blohm +Voss	4 x 2 Kessel *)			[46]

Geleitboot F8	1934	Blohm +Voss	2 Kessel			[46], [66]
Geleitboot G1	1941	N.N.	3 Kessel	28		[66]
Summe	55 bzw. 63 Kessel *)					

\*) Hier besteht eine Diskrepanz zwischen [46] und [66]: Nach Franzen [46] sind sechs Schiffe vom Typ F7 mit Bensonkesseln ausgerüstet, nach Gröner [66] sind es nur zwei Schiffe

## 11. Konkurrenten des Bensonkessels

### Sulzerkessel

Sulzer verfolgt offensichtlich die Entwicklungsaktivitäten von Siemens, insbesondere die Probleme bezüglich der Speisewasserqualität und tritt 1929 mit einem Versuchskessel an die Öffentlichkeit. Dieser Kessel unterscheidet sich in einem entscheidenden Merkmal vom Bensonkessel. Er besitzt nach dem Verdampfer eine

	Jahr	Bensonkessel	Jahr	Sulzerkessel
Pilotanlage	1924	Rugby	1929	Sulzer
1. Industriekessel	1926	Berlin-Gartenfeld	1931	C. Weber
1. Kessel > 100 t/h	1929	Langerbrügge	1938	Mannheim
1. gasdicht verschweißte Schraubenwicklung	1963	Rhodiaceta	1966	Vaesteras
Wärmeelastisches Anfahrssystem mit separaten Abscheidern	1964	Badalona II	1975	Bremen
Zahl der gebauten Kessel (Stand 1995)		977		≈ 320 *)

\*) In der Sulzer-Referenzliste werden außerdem mehr als 120 Controlled Circulation- oder Combined Circulation-Kessel aufgeführt, die nicht das Kriterium eines Durchlaufkessels erfüllen

Abscheideflasche, in der ca. 5 % des Verdampferstromes wie bei einem Trommelkessel als Wasser mit hohem Salzgehalt abgeschlämmt werden. Damit verliert der Sulzerkessel zwei wesentliche betriebliche Vorteile, die der Bensonkessel besitzt. Aufgrund des festgehaltenen Verdampfungsendpunktes ist die Frischdampf Temperatur abhängig von Last, Brennstoff, Luftüberschuss und Verschmutzungszustand der Heizflächen. Außerdem ist nur ein Betrieb mit unterkritischen Drücken möglich. Ein zweites Unterscheidungsmerkmal sind die Drosseln am Eintritt der Verdampferrohre, um den Durchsatz durch die einzelnen Parallelrohre zu vergleichmäßigen. Da der Versuchskessel nur ein Verdampferrohr besitzt, verwendet Sulzer fortan den Begriff „Einrohrkessel“.

Konstruktiv unterscheiden sich die beiden Kesseltypen bis Anfang der 60er Jahre durch die Brennkammerberohrung: Beim Bensonkessel werden das Steigrohr-Fallrohr-System und in Einzelfällen die Mäanderbandwicklung eingesetzt, während Sulzer ausschließlich die Mäanderbandwicklung verwendet.

Der Sulzerkessel entwickelt sich zum Hauptkonkurrenten des Bensonkessels. Lizenznehmer in Deutschland sind

zunächst KSG (Kohlenscheidungs-gesellschaft GmbH) und Buckau R. Wolf, aus denen 1975 in Verbindung mit der Übernahme von Walther & Cie. die EVT (Energie- und Verfahrenstechnik GmbH) entsteht. Später kommt noch der Benson-Lizenznehmer MAN hinzu.

Ein Vergleich zeigt, dass Siemens mit dem Bensonkessel stets die technologische Führung auf dem Gebiet des Durchlaufkessels innehat.

1975 zwingt die Veba Kraftwerke Ruhr AG den Kessellieferanten EVT, für den 740-MW-Kessel Scholven F das Sulzer-Prinzip des festgehaltenen Verdampfungsendpunktes aufzugeben und das Benson-Prinzip des variablen Verdampfungsendpunktes zu übernehmen. Mit dieser Entscheidung verliert das Sulzer-Prinzip auch bei anderen Kraftwerksbetreibern rasch an Bedeutung und wird bald nicht mehr angewendet. Sulzer und deren Lizenznehmer übernehmen das Benson-Prinzip.

### Ramsin-Kessel

Anfang der 30er Jahre ist für einige Zeit ein Assistent des Instituts für Wärmetechnik der Moskauer Universität (dessen Direktor Prof. L. K. Ramsin ist) in der Siemens-Kesselabteilung tätig. Nach seiner Rückkehr später entwirft und baut man in der UdSSR den ersten Durchlaufkessel, der den Namen „Ramsin-Kessel“ erhält. Seine Auslegungsdaten sind 200 t/h, 140 at/480 bis 500 °C/400 °C.

In der Zeitschrift „Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen“ Heft 9/1936 wird dieser Kessel wie folgt kommentiert:

- Th. Sauer: Der russische Kesselbau hat in den letzten Jahren Fortschritte gemacht. Das wird an dem Beispiel eines Sonderkessels gezeigt, der in Anlehnung an deutsche Entwicklungsarbeiten geschaffen worden ist.
- Siemens: [...] er gleicht in seinem Aufbau dem Bensonkessel, der offenbar als Vorbild gedient hat.

### UP-Kessel

Der Universal Pressure Boiler (UP Boiler) des amerikanischen Benson-Lizenznehmers Babcock & Wilcox Comp. basiert auf der ursprünglichen Idee des Mark Benson der Dampferzeugung bei überkritischem Druck. Allerdings wird

hier der überkritische Druck gewählt, um Entmischungserscheinungen am Heizflächeneintritt der drei Stufen des Steigrohr-Fallrohr-Systems zu vermeiden. Der erste UP-Kessel nach Abschluss des Benson-Lizenzvertrages im Jahr 1954 wird im Kraftwerk Breed/USA gebaut, er stellt mit seinen gasdicht verschweißten Umfassungswänden einen Meilenstein in der Kesselentwicklung dar.

In den 60er und 70er Jahren entwickelt sich in den USA der Markt rasant für fossil beheizte Kraftwerke, über 50 % werden als überkritische Blöcke mit Durchlaufkesseln bestellt. Die Blockgröße wächst dabei so schnell, dass es nicht möglich ist, Betriebserfahrungen für die jeweils nächste Blockgröße zu berücksichtigen. Das Resultat ist ein drastischer Einbruch der Verfügbarkeit der überkritischen Blöcke. Dazu kommt das Vordringen der Kernkraft, die fossil beheizten Kraftwerke übernehmen den Mittellastbereich. Auch aus diesem Grund nimmt die Bedeutung des UP-Boilers ab, da er für einen Gleitdruckbetrieb wenig geeignet ist. Der letzte UP-Boiler wird 1985 im Kraftwerk Zimmer/USA gebaut.

Babcock & Wilcox Comp. und seine UP-Lizenznehmer Babcock Power Ltd. und Babcock-Hitachi K.K. haben insgesamt 171 UP-Boiler errichtet, darunter den weltgrößten Kessel im Kraftwerk Cumberland/USA mit einer Leistung von 4.540 t/h.

#### Combined-Circulation-Boiler

Der Combined-Circulation-Boiler von Combustion Engineering Inc. wird als Kombination von Zwangumlauf- und Durchlaufkessel auf den Markt gebracht, er ist im Prinzip jedoch ein überkritischer Zwangumlaufkessel. Lizenznehmer in Japan ist Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Auch der Combined-Circulation-Boiler wird aus den gleichen Gründen wie der UP-Boiler nicht mehr gebaut.

#### Multi-Pass-Boiler

Der Multi-Pass-Boiler von Foster Wheeler Inc. basiert auf dem gleichen technischen Konzept wie der UP-Boiler. Lizenznehmer in Japan ist Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.. Auch dieser Kesseltyp wird aus den vorgenannten Gründen nicht mehr gebaut.

### **12. Lizenzeinnahmen**

Für die Lizenzeinnahmen und -ausgaben bis zum Geschäftsjahr 1949/1950 kann nur auf Pauschalangaben zurückgegriffen werden:

- Bis 1933 stehen den Lizenzgebühren in Höhe von Sfr. 250.000 Entwicklungskosten in Höhe von Sfr. 3'750.000 gegenüber, zusätzlich werden ca. DM 3'500.000 für den Bau des Bensonkessels in einem Kraftwerk (wahrscheinlich Berlin-Gartenfeld) aufgewendet.
- Durch die bis Ende 1944 eingegangenen Lizenzzahlungen wird das Benson-Konto von RM 2'500.000 auf RM 750.000 entlastet.

Ab dem Geschäftsjahr 1949/1950 werden wieder Lizenzgebühren gezahlt. Es dauert jedoch bis Mitte der 50er

Jahre, bis das Benson-Konto ausgeglichen ist. Erst danach beginnt die Benson-Lizenz für Siemens ein wirtschaftlicher Erfolg zu werden. Bis auf zwei Geschäftsjahre, in denen der Bau der 2. Benson-Versuchsstrecke finanziert werden muss, ist das Geschäftsergebnis jedoch stets positiv. Dazu kommen noch Lieferaufträge für Kraftwerke bzw. Kraftwerkskomponenten und Beratungsaufträge, die Siemens auf Grund seiner Kesselkompetenz erhält. Diese sind jedoch nicht quantifizierbar.

### **13 Personalien**

Folgende Herren waren bzw. sind in den vergangenen über 90 Jahren bei Siemens an verantwortlicher Stelle für die Benson-Lizenz tätig:

Karl Köttgen:	Generaldirektor, fällt die Entscheidung, Bensonkessel zu bauen
Hans Gleichmann	Seit Beginn der Bensonkessel-Aktivitäten 1923 bis 1944 Leiter der Dampfabteilung AZ 7
Martin Eule	Seit Beginn der Bensonkessel-Aktivitäten 1923 bis in die 50er Jahre (?) Leiter der Konstruktion in der Kesselabteilung
Heinz Rabe	Seit Beginn der Bensonkessel-Aktivitäten 1923 bis 1942 (?) Leiter der wärmetechnischen Berechnung in der Kesselabteilung
Rupprecht Michel	1948 – 1973: Zunächst Leiter der Kesselabteilung, zuletzt Bereichsleiter der gesamten Maschinentechnik
Elmar Kefer	1968 – 1973: Leiter der Kesselabteilung, 1973 im Alter von 48 Jahren verstorben
Eberhard Wittchow	1974 – 1995: Leiter der Kesselabteilung, später der Hauptabteilung Technik konventionelle Anlagen, ab 1995 Berater für Dampfkraftwerke. In der gesamten Zeit verantwortlich für die Benson-Lizenz
Georg Lösel	1974 – 1984: Leiter der Abteilung Bensonkessel-Entwicklung und -lizenzen
Joachim Franke	ab 1989: Zunächst Referent für Bensonkessel, ab 1995 Leiter der Hauptabteilung Konventionelle Dampferzeuger, ab 2001 Hauptreferent für Bensonkessel
Rudolf Kral Jan Brückner	ab 1996 Referent für Bensonkessel ab 2010 als Principal Expert Benson Technology verantwortlich für die Benson-Lizenz und die technische Entwicklung der Benson-Abhitzekessel
Martin Effert	ab 2010 Leiter der Abteilung Benson-Technik, die seit 2017 als Gruppe in der Prozesstechnik im globalen Engineering weiter geführt wird.

Leiter der Benson-Versuchsstrecke:

Karl-Rudolph Schmidt:	In den 50er und 60er Jahren
Dietmar Hein:	1974 – 1982 (Bau der 2. Benson-Versuchsstrecke)
Bernhard Brand:	1982 – 1989
Wolfgang Kastner:	1989 – 2001
Holger Schmidt:	ab 2001
Wolfgang Köhler:	bis 1999 Referent für die Benson-Versuchsstrecke
Oliver Herbst:	ab 1999 Referent für die Benson-Versuchsstrecke

Verantwortliche in der Patent- und Rechtsabteilung für die Benson-Lizenz:

H. Weller, H. Feist, Burghard v. Alvensleben, Peter Knorr,  
Thomas Bühlmeier, Dr. Thomas Roth, Michael Schmid

#### 14. Stand der Benson-Lizenz im Jahr 2018

Das Interesse der Kesselhersteller in aller Welt an der Benson-Lizenz hält unverändert an. Es basiert auf der Nutzung der Siemens-Patente, aber auch auf der des Know-hows. Die Laufzeit der aktuellen Benson-Lizenzverträge reicht z.T. bis zum Jahr 2030 (fossil befeuerte Bensonkessel) bzw. bis zum Jahr 2023 (Abhitze-Bensonkessel).

Folgende Hersteller besitzen derzeit eine Lizenz für fossil befeuerte Bensonkessel:

AC Boilers S.p.A.	Italien
Ansaldo Caldaie Boilers India Pvt. Ltd.	Indien
Babcock & Wilcox Power Generation Group* <sup>1</sup>	USA
Thermax Babcock & Wilcox Energy Solutions Pvt. Ltd.	Indien
Dongfang Boiler Group Co. Ltd.	China
Doosan Babcock Ltd.	Großbritannien
Doosan Heavy Industries & Construction Co. Ltd.	Korea
Harbin Boiler Co. Ltd.	China
Sumitomo SHI FW	Finnland
BHI FW Corporation	USA
Shanghai Boiler Works Co. Ltd.	China
BHI Co. Ltd.	Korea
ISGEC Heavy Engineering Ltd.	Indien
Mitsubishi Hitachi Power Systems Europe GmbH	Deutschland
BGR Boilers Pvt. Ltd.	Indien
Rafako S.A.	Polen
Riley Power Inc.	USA
Shanghai Boiler Works Co. Ltd. * <sup>2</sup>	China
PJSC TKZ "Krasny Kotelshchik"	Russland

Direkte Lizenz

Unterlizenz

1: Hauptlizenz beendet; Unterlizenz in Kraft

2: Begrenzt auf CFB Kessel

Folgende Hersteller besitzen derzeit eine Lizenz für Benson Abhitzeessel:

AC Boilers S.p.A.	Italien
CMI SA	Belgien
Amec Foster Wheeler Energía S.L.U.	Spanien
IHI Corporation	Japan
Innovative Steam Technologies	Kanada
NEM Energy b.v.	Niederlande
GS Entec Corp.	Korea
Nooter/Eriksen Inc.	USA
Hansol SeenTec Co. Ltd.	Korea
S&T Corporation	Korea
Vogt Power International Inc.	USA

Direkte Lizenz

Unterlizenz

#### 15 Referenzlisten

Die Referenzlisten für fossil befeuerte Bensonkessel und für Benson-Abhitzeessel werden jährlich aktualisiert und im Internet auf der Homepage der Benson-Lizenz und der Benson-Technologie bereitgestellt:

<http://www.siemens.com/benson>



**16 Dampfleistungen der jährlich bestellten, gefeuerten Bensonkessel**

Jahr	Dampfleistung pro Jahr (kg/s)	Kumulierte Dampfleistung (kg/s)
1926	20,00	20,00
1927	0,00	20,00
1928	0,00	20,00
1929	41,39	61,39
1930	0,00	61,39
1931	0,00	61,39
1932	0,00	61,39
1933	27,78	89,17
1934	0,00	89,17
1935	116,66	205,83
1936	165,28	371,11
1937	546,39	917,50
1938	611,78	1.529,28
1939	581,94	2.111,22
1940	123,89	2.235,11
1941	305,56	2.540,67
1942	17,50	2.558,17
1943	322,22	2.880,39
1944	0,00	2.880,39
1945	0,00	2.880,39
1946	0,00	2.880,39
1947	41,47	2.922,06
1948	88,89	3.010,94
1949	355,56	3.366,50
1950	80,00	3.446,50
1951	50,00	3.496,50
1952	395,28	3.891,78
1953	416,67	4.308,44
1954	1.536,94	5.845,39
1955	641,39	6.486,78
1956	2.458,33	8.945,11
1957	1.504,72	10.449,83
1958	1.957,22	12.407,06
1959	3.174,17	15.581,22
1960	4.359,72	19.940,94
1961	3.266,50	23.207,44
1962	6.033,89	29.241,33
1963	9.638,06	38.879,39
1964	7.815,56	46.694,94
1965	7.971,11	54.666,06
1966	8.473,33	63.139,39
1967	13.672,50	76.811,89
1968	15.772,50	92.584,39
1969	10.591,39	103.175,78
1970	7.549,67	110.725,44

1971	18.165,44	128.890,89
1972	8.101,94	136.992,83
1973	5.869,22	142.862,06
1974	3.036,22	145.898,28
1975	7.140,67	153.038,94
1976	5.608,61	158.647,56
1977	7.554,50	166.202,06
1978	729,44	166.931,50
1979	6.323,00	173.254,50
1980	1.902,50	175.157,00
1981	6.682,78	181.839,78
1982	1.953,06	183.792,83
1983	4.992,78	188.785,61
1984	2.821,89	191.607,50
1985	1.768,00	193.375,50
1986	1.657,00	195.032,50
1987	1.607,83	196.640,33
1988	899,94	197.540,28
1989	533,89	198.074,17
1990	416,94	198.491,11
1991	1.805,00	200.296,11
1992	2.926,94	203.223,06
1993	1.746,11	204.969,17
1994	2.864,89	207.834,06
1995	663,00	208.497,06
1996	833,00	209.330,06
1997	582	209.912,06
1998	834,00	210.746,06
1999	2.368,60	213.114,66
2000	2.054,00	215.168,66
2001	403,00	215.571,66
2002	1.056,00	216.627,66
2003	27.874,00	244.501,66
2004	14.085,80	258.587,46
2005	10.963,60	269.551,06
2006	9.776,80	279.327,86
2007	12.951,30	292.279,16
2008	14.001,40	306.280,56
2009	13.699,92	319.980,48
2010	18.482,66	338.463,14
2011	10.172,00	348.635,14
2012	20.324,00	368.959,14
2013	10.288,80	379.247,94
2014	16.805,17	396.053,11
2015	11.349,10	407.402,21
2016	2.879,10	410.281,31
2017	7.570,60	<b>417.851,91</b>

## 17 Quellen und weiterführende Literatur

- [1] Patentschrift Nr. 419766: Verfahren zur Erzeugung von gebrauchsfertigem Arbeitsdampf von beliebigem Druck
- [2] Reuleaux, F.: Der Konstrukteur, ein Handbuch zum Gebrauch beim Maschinen-Entwerfen, Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1882 - 1889
- [3] Unbekannter Verfasser eines Buches; Kapitel 4: Der Benson-Kessel
- [4] Abendroth, W.: Dampfkraftanlage mit Benson-Kessel im Kraftwerk der Siemens-Schuckertwerke, VDI, Band 71 (1927), Seite 59
- [5] Eule, M.: Der Benson-Dampfprozeß im Schiffsbetrieb, Jahrbuch des Schiffbautechnischen Gesellschaft e. V., Band 29 (1928)
- [6] Gleichmann, H.: Aufbau von Höchstdruckanlagen für Großkraftwerke unter besonderer Berücksichtigung des Benson-Verfahrens, VDEW-Sonderdruck der 36. Hauptversammlung in Wien 1928
- [7] Gleichmann, H.: Das Benson-Verfahren zur Erzeugung höchstgespannten Dampfes, VDI, Band 72 (1928), Seite 94
- [8] Gleichmann, H.: Das Heizkraftwerk mit Benson-Kessel im Kabelwerk Gartenfeld der SSW, Siemens-Zeitschrift, Band 8 (1928), Seite 179
- [9] Gleichmann, H.: Weiterentwicklung des Benson-Verfahrens, VDI, Band 72 (1928), Seite 168
- [10] Rabe, H.: Die Erzeugung und Verwertung von Höchstdruckdampf nach dem Benson-Verfahren, Naturwissenschaft, 1928, Band 16
- [11] Josse, E.: Untersuchungen am Bensonkessel der TH Berlin, VDI, Band 73 (1929), Seite 1815
- [12] Goos, E.: Die Höchstdruckanlage auf dem Dampfer „Uckermark“, VDI, Band 75 (1931), Seite 1433
- [13] Frahm, H.: Bericht über einen absichtlich herbeigeführten Salzeinbruch in das Speisewasser der Benson-Kesselanlage des Dampfers Uckermark, Werft-Reederei-Hafen, 13. Jahrgang (1932), Seite 131
- [14] Frahm, H.: Die Verwendung von Höchstdruckkesseln im Schiffsbetrieb mit besonderer Berücksichtigung des Benson-Kessels, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft e. V., Band 33 (1932), Seite 77
- [15] Goos, E.: Betrieb und Ergebnisse des Benson-Kessels auf D. „Uckermark“, Jahrbuch des Schiffbautechnischen Gesellschaft e. V., Band 33 (1932)
- [16] Gleichmann, H.: Die Entwicklung des Zwanglaufrohren- bzw. Bensonkessels in Vergangenheit und Zukunft, Siemens-Zeitschrift, Band 13 (1933), Seite 99
- [17] Gleichmann, H.: Die Entwicklung des Zwanglaufrohren-Bensonkessels, Die Wärme, 56. Jahrgang (1933), Nr. 28; Seite 495
- [18] Gleichmann, H.: Neues vom Benson-Kessel, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 14 (1933), Seite 795
- [19] Herry, L., Josse, E.: Die Benson-Hochdruckanlage im Kraftwerk Langerbrügge, VDI, Band 77 (1933), Seite 679
- [20] Monteil, C.: La Chaudière Benson à 225 kg/cm<sup>2</sup> de la Centrale Langerbrugge (Belgique), Génie Civil, 53. Jahrgang (1933), Seite 562
- [21] Herry, L.: La Chaudière à très haute Pression, de la Centrale Langerbrugge (Belgique), Génie Civil, 53. Jahrgang (1933), Seite 581
- [22] Rabe, H.: Die weitere Entwicklung des Bensonkessels, Naturwissenschaft, 1933, Seite 795
- [23] Bleiken, B.: Ostasien-Schnelldampfer Potsdam, maschinentechnische Einrichtungen, VDI, Band 79 (1935), Nr. 2, Seite 969
- [24] Gleichmann, H.: Die Entwicklung des Benson-Dampferzeugungsverfahrens, Stahl und Eisen, 55. Jahrgang (1935), Seite 930
- [25] Lent, H.: Die Anwendung des Hochdruckdampfes im Berg- und Hüttenwesen, Technische Mitteilungen, 28. Jahrgang (1935), Seite 353
- [26] Siemens-Werbeschrift Mitte der 30er Jahre, enthalten in der internen Dokumentation der Dürrwerke AG „Bensonkessel von den Dürrwerken AG 1934 – 1990“, siehe auch [94]
- [27] Michel, F.: Das Festhalten der Restverdampfungszone beim Bensonkessel, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 17 (1936), Seite 209
- [28] Rabe, H.: Dampfumformer, Die Wärme, 59. Jahrgang (1936), Heft 36, Seite 581
- [29] Sauer, T.: Der erste Zwanglauf-Höchstdruckkessel Bauart Ramsin, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 17 (1936), Heft 9, Seite 235
- [30] Sütterlin, B.: Benson-Kessel in der Seeschifffahrt, Reichsgemeinschaft der Technisch-Wissenschaftlichen Arbeit (RTA), Nr. 26 (1937), Seite 5
- [31] Lent, H.: Erfahrungen beim Bau und Betrieb der Hochdruckanlage Scholven, VDI, Band 81 (1938), Heft 38
- [32] Verschiedene Autoren: Betriebserfahrungen mit Hochdruckkesseln, Technische Mitteilungen, 31. Jahrgang (1938), Heft 24, Seite 552
- [33] Splittgerber, A.: Über das Versalzen und Verkieseln von Überhitzern und Turbinen durch Kesselsalze und Abhilfemaßnahmen, Technische Mitteilungen, 31. Jahrgang (1938), Heft 24, Seite 590

- [34] Eichler, A.: Bewährung des Marine-Bensonkessels, Mitteilungen der VGB, Heft 72 (1939)
- [35] Föttinger, H.: Strömung in Dampfkesselanlagen, Mitteilungen der VGB, Heft 73 (1939), Seite 151
- [36] Kleinhans, A.: Stabilität der Strömungsverteilung in Heizflächen mit Zwangsdurchlauf, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 20 (1939), Heft 5, Seite 135
- [37] Michel, F.: Die Dampftrommel beim Bensonkessel, VDI, Band 84 (1940), Nr. 16
- [38] Michel, F.: Neuerungen am Benson-Kessel, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 21 (1940), Seite 5
- [39] Stegemann: Erfahrungen an einer Zwangsdurchlauf-Kesselanlage, Mitteilungen der VGB, Heft 77 (1940), Seite 42
- [40] Michel, R.: Die Anwendung des Bensonkessels im Bergbau, Elektrizität im Bergbau, (1941), Heft 4
- [41] Rabe, H.: Einige Sonderfragen an den Betrieb von Bensonkesseln, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 23 (1942), Heft 10, Seite 217
- [42] Michel, R.: Die Speicherfähigkeit des Bensonkessels. Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, Band 24 (1943), Heft 3
- [43] Michel, R.: Die günstigste Speisewassertemperatur für Kondensationskraftwerke, Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen, B. 24 (1943), H. 11, Seite 205
- [44] Rabe, H.: Interner Siemens-Bericht „Hochdruckdampf“, 1943
- [45] Stegemann: Höchstdruckkraftwerk Osthannover, VDI, Band 90 (1948), Heft 6
- [46] Franzen, C. W.: Betriebserfahrungen mit Hochdruck-Dampferzeugern auf Schiffen, Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 1 (1949), Nr.7
- [47] 25 Jahre Bensonkessel 1927 - 1952, Entwicklung und heutiger Stand der Technik, Siemens-Sonderdruck
- [48] Hoffbauer, E.: Rohrschäden an Hochdruck-Schiffskesseln, Mitteilungen der VGB, Heft 19 (1952)
- [49] Rabe, H.: Der Entwicklungsstand des Bensonkessels, Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 4 (1952), Heft 10, Seite 332
- [50] Siemens-Druckschrift „25 Jahre Bensonkessel (1927 – 1952)“
- [51] Rowand, W. H.: Developing the First Commercial Supercritical-Pressure Steam Generator, Power, September 1954; Seite 73
- [52] Michel, R.: Der Bensonkessel als Dampferzeuger für höchste Drücke und Leistungen, Energie, 8. Jahrgang (1956) Heft 6, Seite 193
- [53] Eule, M.: Die Entwicklung des Bensonkessels bei den Siemens-Schuckertwerken und die dabei gemachten Erfahrungen, Siemens-interner Bericht (1958)
- [54] Heitmann, H. G.: Chemische Reinigung von Bensonkesseln, Mitteilungen der VGB, Heft 62 (1959), Seite 319
- [55] Schmidt, K. R.: Wärmetechnische Untersuchungen an hochbelasteten Heizflächen, Mitteilungen der VGB, Heft 63 (1959), Seite 391
- [56] Siemens-Druckschrift (Wrba, P.): Bensonkessel – Dampferzeugung im einmaligen Durchlauf, 1962
- [57] Michel, R.: Probleme des Durchlaufkessels unter besonderer Berücksichtigung des strömungstechnischen Verhaltens, Mitteilungen der VGB, Heft 63 (1959), Seite 402
- [58] Dorfmann, H.: Betrieb mit Bensonkesseln, Dür-Mitteilungen, Heft 17, Dezember 1962
- [59] Michel, R.: Gegenwärtiger Stand des Bensonkessels, Energie, Jahrgang 15, 1963, Heft 5, Seite 190
- [60] Oyama, T., Okinawa, K.: Der erste Bensonkessel in der öffentlichen Stromversorgung Japans, Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 16 (1964), Heft 10, Seite 511
- [61] Aktennotizen über die Verhandlungen mit BSPC vom 19.10.1964, 15.12.1964 und 20.10.1965
- [62] Schröder, K.: Große Dampfkraftwerke, Band 1 Kraftwerksatlas, Seite 80 bis 85, Springer-Verlag, 1965
- [63] Schröder, K.: Große Dampfkraftwerke, Band 1 Kraftwerksatlas, Seite 690 bis 780, Springer-Verlag, 1965
- [64] Schröder, K.: Große Dampfkraftwerke, Band 1 Kraftwerksatlas, Seite 90 bis 93, Springer-Verlag, 1965
- [65] Goebel, K.: Gasturbinen-Dampfkraftwerk Hohe Wand, Siemens-Zeitschrift 1966, Seite 102
- [66] Gröner, E.: Die deutschen Kriegsschiffe 1815 – 1945, Band 1, J. F. Lehmanns Verlag München, 1966, Seiten 208, 209, 258 und 259
- [67] Pauli, H.: Lastabschaltversuche bei Blockeinheiten mit Bensonkesseln, Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 18 (1966), Heft 9, Seite 453
- [68] Dziembowski von, H., Pahlke: Der 320-MW-Block Kraftwerk Farge der NWK, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 1968, Heft 10
- [69] Miller, C., Waldmann, J.: Eignung eines Zwangsdurchlauf-Braunkohlen-Dampferzeugers für Gleitdruck/Gleittemperaturverfahren, Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 21 ( (1969), Heft 6, Seite 305

- [70] Rziha, H.: Das Dampfkraftwerk Badalona der FECSA/Spanien, Siemens-Zeitschrift, 43. Jahrgang (1969), Heft 5
- [71] Wittchow, E.: Anfahrssysteme für Bensonkessel, Mitteilungen der VGB 49 (1969), Heft 5, Seite 319
- [72] Adrian, F.: Hochaufgeladene Dampferzeuger, Energie und Technik, 1970, H. 8
- [73] Bund, Henney, Krieb: Kombiniertes Gas/Dampf-Turbinen-Kraftwerk mit Steinkohlen-Druckvergasung im KW Kellermann Lünen, Brennstoff-Wärme-Kraft 23 (1971), Heft 6
- [74] Brückner, H., Wittchow, E.: Kombinierte Dampf-Gasturbinen-Prozesse – Einfluss auf Auslegung und Betrieb der Dampferzeuger, Energie und Technik 24 (1972), Heft 5, Seite 172
- [75] Komo, G.: Planung der Kesselanlagen der 600-MW-Blöcke des Kraftwerkes Niederaußem, Braunkohle (1972), Heft 4, Seite 118
- [76] Michel, R.: Gesichtspunkte bei der Planung und dem Bau großer Braunkohleblöcke, Braunkohle (1973), Heft 5
- [77] Kahlert, W.: Erfahrung beim Bau und bei der Inbetriebnahme von 6 zeichnungs-gleichen Kombiblöcken, Mitteilungen der VGB 54(1974), Heft 8, Seite 537
- [78] Spalthoff, F., J.: Die 600-MW-Blöcke der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke AG, VGB Kraftwerkstechnik, Band 55 (1975), Heft 11, Seite 708
- [79] Haller, K. H.: Design of large coal fired steam generators, Energy Systems Technical Sales Seminar, Dubrovnik, 1976
- [80] Michel, R.: Leistungen des Hauses Siemens, Siemens-Archiv 1976
- [81] Komo, G.: Errichtung und Betriebsergebnisse der 600-MW-Braunkohlekessel des RWE, Braunkohle (1977), Heft 10, Seite 403
- [82] Hein, D., Wittchow, E.: Die BENSON-Versuchsstrecke – Aufbau und Beispiele für den Einsatz, Jahrbuch der Dampferzeugertechnik, 4. Ausgabe 1980/81, Vulkan-Verlag Essen, Seite 246
- [83] Hein, D., Wittchow, E.: Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des BENSON-Dampferzeugers, Jahrbuch der Dampferzeugertechnik, 4. Ausgabe 1980/81, Vulkan-Verlag Essen, Seite 218
- [84] Matzerath, G., Wöhler, C., H.: Dampferzeuger für den Block 3 des Gemeinschaftskraftwerkes Mehrum, Jahrbuch der Dampferzeugertechnik, 4. Ausgabe 1980/81, Vulkan-Verlag Essen, Seite 287
- [85] Wittchow, E.: Trommelkessel oder Durchlaufkessel: Einfluss des Verdampfersystems auf die Auslegung und das Betriebsverhalten der Anlage, VGB Kraftwerkstechnik 62 (1982), Heft 5, Seite 346
- [86] Bald, A., Wittchow, E., Charlier, C.: Steinkohlebefeuerte Kraftwerke – Heutiger Stand und zukünftige Möglichkeiten der Auslegung, VGB Kraftwerkstechnik 63 (1983), Heft 1, Seite 7
- [87] Breucker, H., Stadie, L.: Steinkohlebefeuerte Dampferzeuger für Kraftwerke mit hohen Dampfzuständen, VGB Kraftwerkstechnik 63, 1983, Heft 1, Seite 29
- [88] Franke, J., Wittchow, E., Lausterer, G. K.: Das Dampferzeuger-Dynamikmodell der KWU und sein Einsatz in Planung und Betrieb von fossilbeheizten Kraftwerken, VGB Kraftwerkstechnik 64 (1984), Heft 7
- [89] Langner, H., Wein, W., Hell, E.: Zirkulierende atm. Wirbelschichtfeuerung, Jahrbuch der Dampferzeugertechnik, 5. Ausgabe 1985/86, Vulkan-Verlag Essen, Seite 396
- [90] Wittchow, E.: Stand und Entwicklung von Dampferzeugern und Feuerungsanlagen, Technische Mitteilungen 78 (1985), Heft 10, Seite 479
- [91] Kraftwerk Wilhelmshaven, Handbuchreihe Energie Band 6, Fossil beheizte Kraftwerke, Technischer Verlag Resch 1986, Seite 546
- [92] Modellkraftwerk Völklingen, Handbuchreihe Energie Band 6, Fossil beheizte Kraftwerke, Technischer Verlag Resch 1986, Seite 606
- [93] Kraftwerk Niederaußem (Blöcke G und H), Handbuchreihe Energie Band 6, Fossil beheizte Kraftwerke, Technischer Verlag Resch 1986, Seite 630
- [94] Kefer, V., Köhler, W., Wittchow, E.: Wärmeübergang und Druckverlust in Dampferzeugerrohren: Forschung und Anwendung, VGB Kraftwerkstechnik 70 (1990), Heft 10, Seite 827
- [95] Köhler, W., Kefer, V., Kastner, W.: Heat Transfer in Vertical and Horizontal One-Side-Heated Evaporator Tubes, Experimental Heat Transfer 3 (1990) pp. 397
- [96] Brummel, H.-G., Franke, J., Wittchow, E.: Besonderheiten der wärmetechnischen Berechnung von Abhitzedampferzeugern, VGB Kraftwerkstechnik 72 (1992), Heft 1, Seite 28

- [97] Franke, J., Wittchow, E.: The BENSON Boiler – A Key Component for Modern Coal-Fired Power Plants, 9th CEPSE Conf., Hongkong, 1992
- [98] Franke, J., Köhler, W., Wittchow, E.: Verdampferkonzepte für Benson-Dampferzeuger – Heutiger Stand und neue Entwicklungen, VGB Kraftwerkstechnik 73 (1993), Heft 4, Seite 352
- [99] Kral, R., Schröder, S., Zipfel, Th.: Versuche mit einem senkrecht berohrten BENSON-Verdampfer in einem 160-t/h-Dampferzeuger, VGB Kraftwerkstechnik 73 (1993), Heft 9, Seite 793
- [100] Interne Zusammenstellung von Dokumenten „Bensonkessel von den Dürrwerken AG 1934 – 1990“, Balcke-Dürr Aktiengesellschaft, Oktober 1994
- [101] Franke, J., Cossmann, R., Huschauer, H.: BENSON-Dampferzeuger mit senkrecht berohrter Brennkammer, VGB Kraftwerkstechnik 75 (1995), Heft 4, S. 353
- [102] Franke, J., Kral, R.: Operational Aspects and Performance of a Benson Boiler With Vertical Evaporator Tubing, POWER-GEN Europe 1995, Amsterdam
- [103] Wittchow, E.: Weiterentwicklung des BENSON-Dampferzeugers, VDI- Berichte Nr. 1182, 1995
- [104] Klein, M., Kral, R., Wittchow, E.: BENSON Boilers – Experience in Nearly 1000 Plants and Innovative Design Promise Continuing Success, Siemens Power Journal 1/1996
- [105] Lehmann, L., Klein, M., Wittchow, E.: Der Block 4 im Kraftwerk Heyden – Referenzanlage für moderne 1000-MW-Steinkohle-Kraftwerke, VGB Kraftwerkstechnik 76 (1996), Heft 2, Seite 85
- [106] Franke, J., Schnabel, F., Wittchow, E.: Materialschonender Betrieb von Dampferzeugern, VGB Kraftwerkstechnik 77 (1997), Heft 2, Seite 104
- [107] Franke, J., Wittchow, E.: Why will BENSON Boilers Replace Drum Boilers in Coal-Fired Power Plants Worldwide, POWER-GEN Asia 1997, Singapore
- [108] Franke, J., Kral, R.: Simply Better – The new BENSON Boiler with its straightforward design, Siemens Power Journal 4/1998
- [109] Griem, H., Köhler, W., Schmidt, H.: Wärmeübergang, Druckverlust und Spannungen in Verdampferwänden – Vom Experiment zur Auslegung, VGB Kraftwerkstechnik 79 (1999), Heft 1, Seite 30
- [110] Franke, J., Kral, R., Wittchow, E.: Dampferzeuger für die nächste Kraftwerksgeneration - Gesichtspunkte zur Auslegung und zum Betriebsverhalten, VGB Kraftwerkstechnik 79 (1999), Heft 9, Seite 40
- [111] Franke, J., Kral, R.: Innovative Boiler Design to Reduce Capital Cost and Construction Time, POWER-GEN Asia 2000, Bangkok
- [112] Franke, J., Lenk, U., Taud, R., Klauke, F.: Innovative Heat-Recovery Steam Generator for Advanced Combined-Cycle Power Plants, POWER-GEN Europe 2000, Helsinki
- [113] Kastner, W., Köhler, W., Schmidt, H.: 25 Jahre Betrieb einer Hochdruck-Versuchsanlage, VGB Kraftwerkstechnik 80 (2000), Heft 6, Seite 45
- [114] Schmidt, H., Kastner, W., Köhler, W.: The Power Industry's View of Past, Present and Future Two-Phase Flow Testing, Heat Transfer Engineering 21 (2000), No. 4, pp. 5
- [115] Smith, D.: Horizontal Boilers Make 700°C Steam Economic, Modern Power Systems, May 2000
- [116] Welford, G.: Vertical Tubes Improve Supercritical Systems, Modern Power Systems, May 2000
- [117] Franke, J., Lenk, U., Taud, R., Klauke, F.: Advanced Benson HRSG makes a successful debut, Modern Power Systems, July 2000
- [118] Siemens-Druckschrift (Wittchow, E.): BENSON Boilers for Maximum Cost-Effectiveness in Power Plants, 2000
- [119] Franke, J., Kral, R.: BENSON Boiler - Best Choice, Siemens Power Journal Online, October 2001
- [120] Alf, M., Boeuf, F., Haberberger, G., Kral, R., Luegmair, H.: Technical and Economic Comparison of Steam Power Plant Concepts Based on Different Steam Parameters, POWER-GEN Europe 2002, Mailand
- [121] Bundle, B.: World First for Yaomeng with Vertical-Tube Low-Mass-Flow Benson Unit, Modern Power Systems, July 2002
- [122] Franke, J.: The Benson Boiler Turns 75, Siemens Power Journal Online, May 2002
- [123] Gould, G., Huff, D., Halil, R.: Merits of Supercritical Steam Generation, POWER-GEN International, 2002
- [124] Welford, G. B., Read, A., Effert, M., Ghiribelli, L., Toste, J. L.: Innovative Supercritical Boilers for Near Term Global Markets, POWER-GEN Europe 2002, Mailand

- [125] Franke, J., Kral, R.: Supercritical boiler technology for future market conditions, Parsons Conference 2003
- [126] Lundqvist, R., Kral, R., Kinnunen, P., Myöhänen, K.: The Advantages of a Supercritical Circulating Fluidized Bed Boiler, POWER-GEN Europe 2003, Düsseldorf
- [127] Siemens und Tageszeitungen: Dr. Joachim Franke: Mit Tradition in die Zukunft - der Benson-Kessel in modernen 700°C-Kraftwerken, 2004
- [128] Effert, Brückner: Benson low mass flux vertically-tubed evaporators in the power market - A status update. MPS – Modern Power Systems, April 2017
- [129] Wittchow, E.: 80 Jahre Bensonkessel (1925 – 2005), Die Geschichte der Benson-Lizenz, August 2005, Siemens-Archiv München

