

Beglaubigte Übersetzung aus der englischen Sprache

**WESTPORT**  
TECHNOLOGY CENTER INTERNATIONAL

---

## Sicherstellung der Fließfähigkeit

R-04-319

November 2004

---

### Bewertung der Clearwell-Technologie bei Karbonatkesselstein produzierenden Solen unter Verwendung der Tube-Blocking-Methode (Rohrverstopfungsmethode)

Abschlussbericht

Verfasser:  
S. Brown & J. Rohan

Arbeiten durchgeführt von:  
J. Rohan

Westport Technology Center International  
6700 Portwest Drive  
Houston, Texas 77024  
(713) 479-8400  
(713) 864-9357 (Fax)  
[www.westport.com](http://www.westport.com)

Erstellt für Halliburton Energy Services

W.O.#

---

Westport Technology Center International erteilt weder ausdrückliche noch stillschweigende Zusicherungen oder Garantien und liefert die Ergebnisse dieses Berichts ausdrücklich ohne Mängelgewähr auf der Grundlage der vom Kunden gelieferten Informationen.

## **INHALTSVERZEICHNIS**

	<u>Seite</u>
1.0 EINLEITUNG	1
2.0 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	1
3.0 MATERIAL	2
4.0 TESTVERFAHREN	2
5.0 ERGEBNISSE	3
6.0 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	4
ANHANG (Diagramm des Tube-Blocking-Gerätes)	10

## **Tabellen- und Abbildungsverzeichnis**

	<u>Seite</u>
Abbildung 1, Kesselsteintest Nr. 1 (ohne Clearwell-Gerät)	6
Abbildung 2, Kesselsteintest Test Nr. 2 (mit Clearwell-Gerät)	7
Abbildung 3, Kesselsteintest Test Nr. 3 (mit Clearwell-Gerät)	8
Abbildung 4, Kesselsteintest Test Nr. 4 (ohne Clearwell-Gerät)	9

## 1.0 EINLEITUNG

Westport Technology Center ist gebeten worden, eine Laborstudie zur Bewertung der Wirksamkeit des Clearwell-Geräts bei der Verminderung von Partikelablagerungen und Verstopfungen durchzuführen. Es wurden bereits Branchenstudien durchgeführt, die eine Orientierung für Testmethoden und für die Parameter bieten, die die Verkalkungsraten in einem Rohr beeinflussen. Einige dieser Parameter werden nachfolgend aufgelistet:

- Kesselstein tritt häufig aufgrund einer pH-Wert-Änderung in der Flüssigkeit sowie einer Erhöhung des Sättigungsindex von Karbonatmineralien auf
- Scherkräfte haben bei steigender Fließgeschwindigkeit Auswirkungen auf die Verkalkungsraten
- und die Wirkung von Kesselsteininhibitoren

Westport ist in der Lage, Kesselsteinstudien zur Bewertung von Kesselsteininhibitoren unter Verwendung der Tube-Blocking-Methode durchzuführen.

## 2.0 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

### Die Tube-Blocking-Methode für Verkalkungsraten

Eine gut entwickelte Methode zur Feststellung der Verkalkungsraten ist die Tube-Blocking-Methode. Diese Testmethode ist zur Bewertung der Wirksamkeit des Clearwell-Produktes bei der Verminderung oder Beseitigung von Kesselstein und Verstopfungen geeignet.

Bei dieser Methode werden zwei Flüssigkeiten eingesetzt: eine mit anionischen Kesselstein bildenden Ionen (z. B.  $\text{HCO}_3^-$ ), und die andere mit kationischen Kesselsteinionen (z. B.  $\text{Ca}^{2+}$ ). Den Testflüssigkeiten werden gleiche Mengen an NaCl hinzugefügt, um ihnen eine bekannte Salzhaltigkeit zu verleihen. Beide Flüssigkeiten werden mit konstanter Geschwindigkeit durch geheizte Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll, die sich in einem Ofen befinden, gepumpt, dann mischen sie sich in einer Prüfspule von bekannter Länge und Innendurchmesser. Am Eingang und Ausgang der Prüfspule werden Druckabfälle verzeichnet. Am Ausgang des Systems wird ein Backpressure-Regulator eingesetzt, um während des Tests einen konstanten Druck aufrecht zu erhalten. Die Testdauer basiert auf der Zeit, die es dauert, bis die Prüfspule verstopft ist (darf 24 Stunden nicht überschreiten). Unser aktuelles Verstopfungstestgerät kann für Temperaturen bis zu 500°F und Drücke bis 7500 psig eingesetzt werden.

In der veröffentlichten Literatur wurde gezeigt, dass eine höhere Fließgeschwindigkeit Kesselsteinkristalle von den Rohrwänden abscheren und die Verstopfung durch Kesselstein verlangsamen oder beseitigen kann. Mehrfache Fließgeschwindigkeiten können getestet werden, um die Auswirkung der Fließgeschwindigkeit auf die Verstopfung durch Kesselstein festzustellen.

Mit Hilfe der Daten über den Druckabfall kann die Dicke der Kesselsteinschicht an den Innenwänden des Rohres festgestellt werden, wenn man davon ausgeht, dass sich der Kesselstein gleichmäßig an der Rohrfläche absetzt.

Die Konzentration von Kesselstein bildenden Ionen sowie die Änderung des pH-Wertes der produzierten Testlösung kann, wenn gewünscht, während der Testdauer überwacht werden. Allerdings wäre dazu ein zusätzliches Gerät erforderlich.

### 3.0 MATERIAL

#### Rohrmaterial

1/8 Zoll starkes Rohr aus rostfreiem Stahl mit einem Innendurchmesser von 0,060 Zoll.

#### Solen

Zusammensetzung der Solen A und B zur Produktion von Kesselstein:

<u>Sole A</u>	<u>g/kg</u>
CaCl <sub>2</sub> -2H <sub>2</sub> O	36,87
NaCl	138,9

<u>Sole B</u>	<u>g/kg</u>
NaHCO <sub>3</sub>	1,5

### 4.0 TESTVERFAHREN

#### Kesselstein produzierende Solen und Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll

Der Test wurde mit Rohrschlangen aus rostfreiem Stahl mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll mit und ohne Verwendung des Clearwell-Gerätes durchgeführt. Diese Tests wurden bei ca. 125° F und 180 psig durchgeführt.

Die beiden Kesselstein produzierenden Solen wurden mit einer Einspritzgeschwindigkeit von 0,5 ml/min durch die vorgeheizten Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll (Innendurchmesser 0,060 Zoll) gepumpt. Dies erzeugte eine Einspritzgeschwindigkeit von 1,0 ml/min durch die Prüfschlange. Die Druckgrenze der Einspritzpumpe wurde auf 5000 psig eingestellt.

In der gesamten Prüfschlange wurde die Druckdifferenz mit dem digitalen Druckmesser Heise PM1 mit einer Druckgrenze von 7500 psig gemessen.

Nachdem der Durchfluss durch die Rohrschlangen eingeleitet worden war, lief der Test, bis die Prüfschlange verstopft war bzw. bis eine maximale Dauer von vierundzwanzig Stunden erreicht war.

Nach der Durchführung des ersten Kesselsteintests ohne das Clearwell-Gerät wurden alle Rohrschlangen mit einer 10%igen HCL-Lösung gründlich gereinigt, um den gesamten Kesselstein zu entfernen, die sich abgesetzt hatten. Das System wurde dann für die Durchführung des Rohrverstopfungstests mit dem Clearwell-Gerät eingerichtet.

## 5.0 ERGEBNISSE

### **Kesselstein produzierende Solen und Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll ohne Clearwell-Gerät (Test Nr. 1)**

Es kam nicht zu einer vollständigen Verstopfung des Rohrmaterials. Allerdings wurde durch den stetigen Anstieg des Differenzdrucks bis auf 3000 psig deutlich, dass sich eine erhebliche Kesselsteinmenge in der Prüfschlange abgesetzt hatte. Der Test wurde beendet und das System über Nacht mit einer 10%igen HCL-Lösung durchgespült um sicherzustellen, dass der Kesselstein entfernt wurde.

Die Ergebnisse des ersten Verstopfungstests mit Kesselstein produzierenden Solen, der ohne das Clearwell-Gerät durchgeführt wurde, werden in Abbildung 1 dargestellt.

### **Kesselstein produzierende Solen und Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll mit Clearwell-Gerät (Test Nr. 2)**

Ein zweiter Test wurde mit dem Clearwell-Gerät durchgeführt um dessen Auswirkungen auf den Kesselstein und die Verstopfungen festzustellen. Änderungen am Testgerät waren erforderlich um sicherzustellen, dass die Rohre aus rostfreiem Stahl keinen Kontakt zueinander oder zu einer Erdungsquelle hatten, die die Signalübertragung des Gerätes stören würde.

Ein Druckaufbau (2000 psig) und ein Nachlassen des Drucks nach etwa 10 Stunden wurden verzeichnet, gefolgt von einem großen Druckaufbau (5000 psig), in dessen Folge sich die Einspritzpumpen abschalteten. Beim Abbau wurde allerdings festgestellt, dass sich die Verstopfung im 1/8 Zoll Kreuzstück aus rostfreiem Stahl (Mischkopf) befand, das dazu genutzt wurde, die beiden vorgeheizten Rohrschlangen mit der Prüfschlange zu verbinden. Es wurde vermutet, dass diese Verstopfung aus dem statischen Abschnitt des Anschlussstücks herrührte, an das der Druckaufnehmer angeschlossen war (es erfolgt kein Durchfluss durch die Druckaufnehmerleitung oder den Sensor selbst).

**ANMERKUNG:** Diese Technologie verhindert nicht die Produktion von Kesselstein, aber führt vielmehr dazu, dass die Kalkpartikel im Fließmedium in Suspension bleiben und sich nicht an der Rohroberfläche festsetzen.

Das Rohr aus rostfreiem Stahl mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll wurde mit klarem Wasser unter Verwendung einer kleinen Pumpe mit einer niedrigen Druckgrenze (200 psig) durchgespült und es wurde festgestellt, dass sich nur kleine Kristalle darin befanden, die nicht erheblich genug waren, um eine Verstopfung im Rohr zu verursachen. Änderungen an den Rohrinstallationen des Messplatzes wurden vorgenommen um sicherzustellen, dass es keine "toten Bereiche" im Fließsystem gab, und ein zweiter Eignungstest mit dem Clearwell-Gerät wurde in Test 3 vorgenommen.

Die Ergebnisse des ersten Verstopfungstests mit Kesselstein produzierenden Solen, der mit dem Clearwell-Gerät durchgeführt wurde, werden in Abbildung 2 dargestellt.

### **Kesselstein produzierende Solen und Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll mit Clearwell-Gerät (Test Nr. 3)**

Die Druckreaktionsdaten aus dem zweiten Eignungstest mit dem Clearwell-Gerät zeigten nur einen einzigen raschen Anstieg der Druckdifferenz (800 psig) nach ca. 600 Minuten. Diese "Druckspitze" könnte die Folge von Kesselsteinkristallen sein, die in einer engen Kurve des Rohres mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll oder an einer kleinen Öffnung am Ausgang der Mischschlange hängen geblieben sind. Der Druckanstieg dauerte ca. 30 Minuten, dann ließ der Druck wieder nach. Nachdem das Rohr wieder frei von Kesselsteinkristallen war, fiel die Druckdifferenz drastisch auf 1,78 psig ab und blieb auf diesem Niveau bis zum Abschluss des Tests nach 24 Stunden.

Die Ergebnisse des zweiten Verstopfungstests mit Kesselstein produzierenden Solen, der mit dem Clearwell-Gerät durchgeführt wurde, werden in Abbildung 3 dargestellt.

### **Kesselstein produzierende Solen und Rohrschlangen mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll ohne Clearwell-Gerät (Test Nr. 4)**

Ein zusätzlicher Test wurde ohne das Clearwell-Gerät durchgeführt um sicherzustellen, dass nach den Änderungen, die nach Test Nr. 2 am Messplatz vorgenommen worden waren, eine Verstopfung der Rohrschlange mit einem Außendurchmesser von 1/8 Zoll eintreten würde. Die Druckreaktionsdaten aus diesem Test zeigten eine beginnende Verstopfung nach ungefähr der gleichen Zeit wie im ersten Test ohne das Clearwell-Gerät.

Die Ergebnisse des zweiten Verstopfungstests ohne Clearwell-Gerät werden in Abbildung 4 dargestellt.

## **6.0 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN**

Dieser erste Eignungstest der Clearwell-Technologie wurde durchgeführt, um rasch Informationen über die Fähigkeit des Gerätes zur Verhinderung der Bildung von Kesselstein zu gewinnen. Der Rohrverstopfungstest ist ein sehr kritischer Test zur Feststellung des Kesselsteinbildungspotenzials aus den beiden sich mischenden Solen (d. h. Einspritzwasser und Formationssole). Wenn zwei Solen nicht kompatibel sind und sich Kesselsteinpartikel absetzen, wird im Grunde durch den kleinen Innendurchmesser der Rohrschlange ein Druckanstieg und möglicherweise eine vollständige Blockierung verursacht. Eine vollständige Blockierung oder ein Druckaufbau ist die Folge einer "Brückenbildung" der Partikel oder einer tatsächlichen Kesselsteinbildung an der Oberflächeninnenseite.

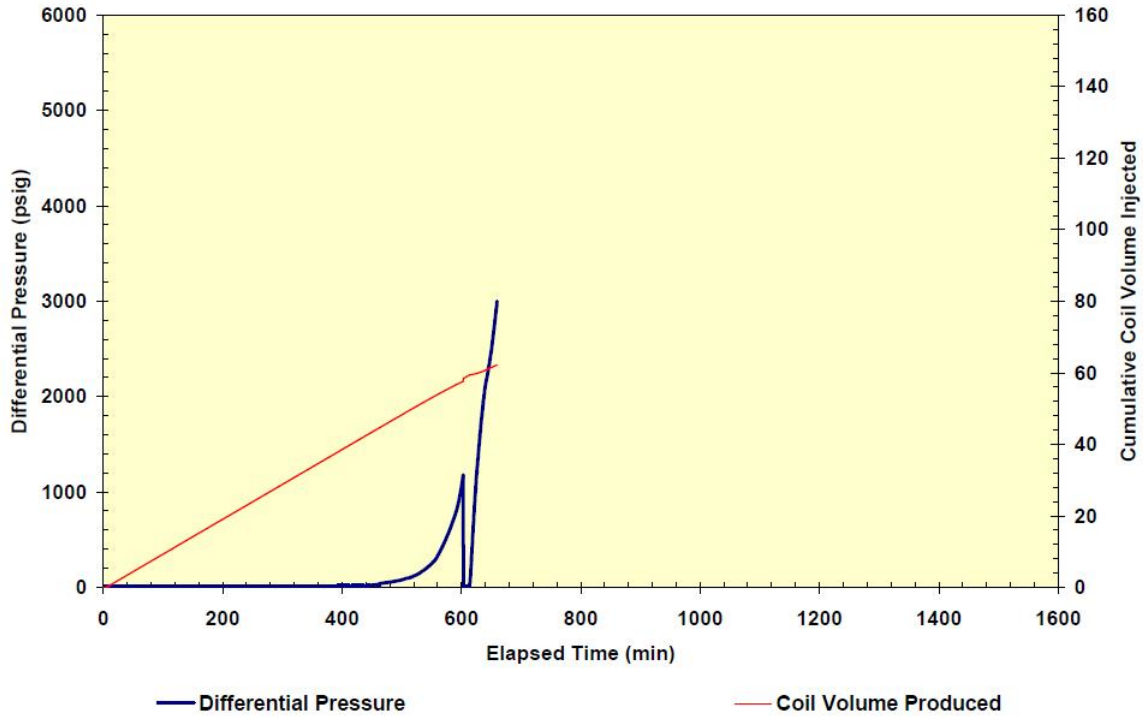
Es wurde beschlossen, dass diese Testdurchführung eine schnelle und effektive Methode zur Bewertung der Wirksamkeit der Clearwell-Technologie ohne Ausarbeitung umfangreicher Durchfluss-Schleifentests wäre. Die Ergebnisse dieser ersten Tests zeigen, dass die Clearwell-Technologie tatsächlich Auswirkungen auf den precipitierenden Kesselstein und den ungehinderten Durchfluss durch eine Kapillare oder ein Rohr haben. Auch wenn ein paar Brückenbildungen entstanden sein mögen, sind sie zerfallen und wurden aus dem System verdrängt. Bei größeren Rohrdurchmessern wäre dies kein besorgniserregender Faktor. Die Testergebnisse sind sehr vielversprechend und garantieren die weitere Untersuchung der Clearwell-Technologie im Hinblick auf ihre Anwendung und finanziellen Auswirkungen in der Ölindustrie.

Westport empfiehlt, weitere Studien einzuleiten, um u. a. die folgenden Punkte vollständig zu prüfen:

- Es ist klar, dass die Clearwell-Technologie die Produktion von Kesselstein nicht verringert, sondern vielmehr dazu führt, dass die Kesselsteinpartikel im Fließmedium in Suspension bleiben und sich daher nicht an den Rohrwänden festsetzen; umfangreichere Durchfluss-Schleifentests sind zunächst ohne das Clearwell-Gerät und dann mit dem Clearwell-Gerät durchzuführen, um die Geschwindigkeit der Bildung von Kesselstein an der Rohrwand festzustellen (keine Möglichkeit der Brückenbildung von Partikeln)
- Weitere vorherrschende Ablagerungsarten sind zu überprüfen, d. h. Ionen, Sulfate, Carbonate
- Die Fähigkeit, die inneren Oberfläche von Durchflussrohren von zuvor dort abgesetztem Kesselstein "zu säubern"
- Die Funktionsfähigkeit in einer gemischten Produktion (vorherrschende Kohlenwasserstoffphase)
- Wirksamkeit als korrosionshemmender Prozess
- Wirksamkeit der Hemmung anderer Festkörper, die in produzierten Flüssigkeiten von Natur aus vorliegen (möglicherweise Asphaltene oder Hydrate), im Rahmen von Problemen der Sicherstellung der Fließfähigkeit
- Wirksamkeit als bakterienhemmender Prozess

Schließlich sind Feldversuche wünschenswert, um die Wirksamkeit der Technologie bei der Übermittlung über gewundene Wege und größere Entfernungen nachzuvollziehen. Einige Meinungen (Westport intern) wurden über die Übermittlungsfähigkeit ohne Signalverlust in großer Wassertiefe oder durch sehr salzhaltige Formationen abgegeben, die typisch für den Golf von Mexiko sind (Solen, die sehr leitfähig sind und das Signal "stehlen").

**Abbildung 1**  
**Kesselsteintest Nr. 1**  
**(ohne Clearwell-Gerät)**



[linke Achse]  
Differenzdruck (psig)

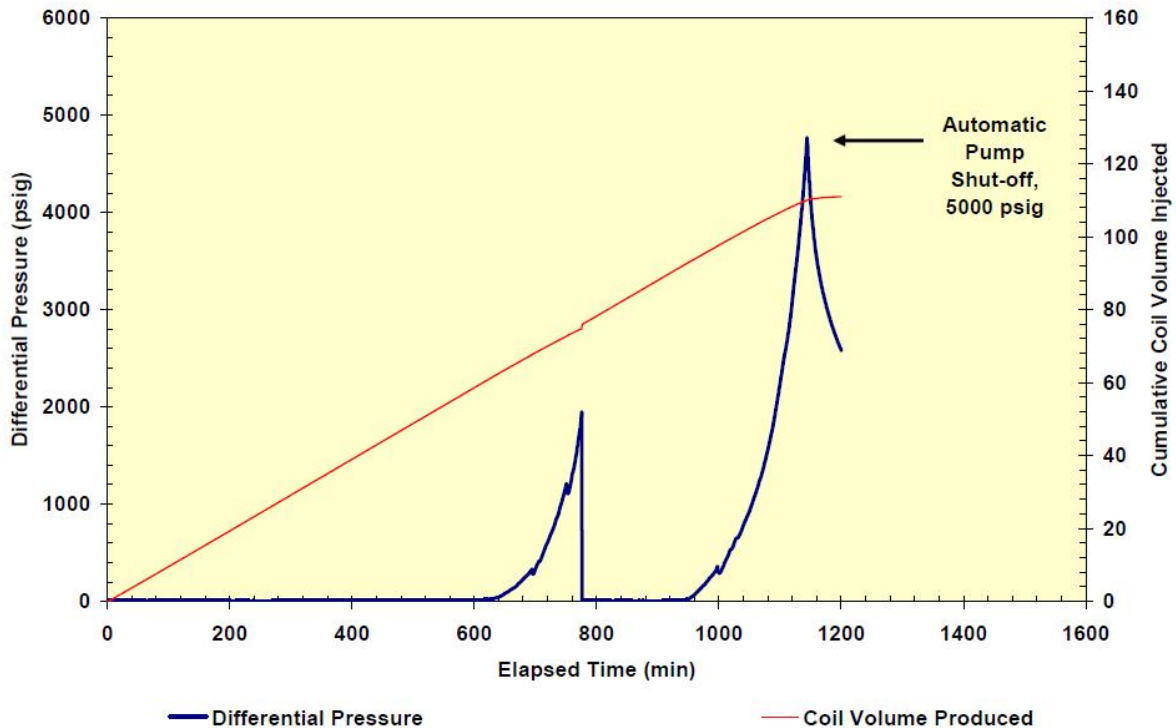
[rechte Achse]  
In die Rohrschlange eingespritzte Gesamtmenge

[untere Achse]  
Verstrichene Zeit (min)

- Differenzdruck

- In der Rohrschlange produzierte Menge

**Abbildung 2**  
**Kesselsteintest Nr. 2**  
**(mit Clearwell-Gerät)**



Automatische Abschaltung der Pumpe, 5000 psig

[linke Achse]  
Differenzdruck (psig)

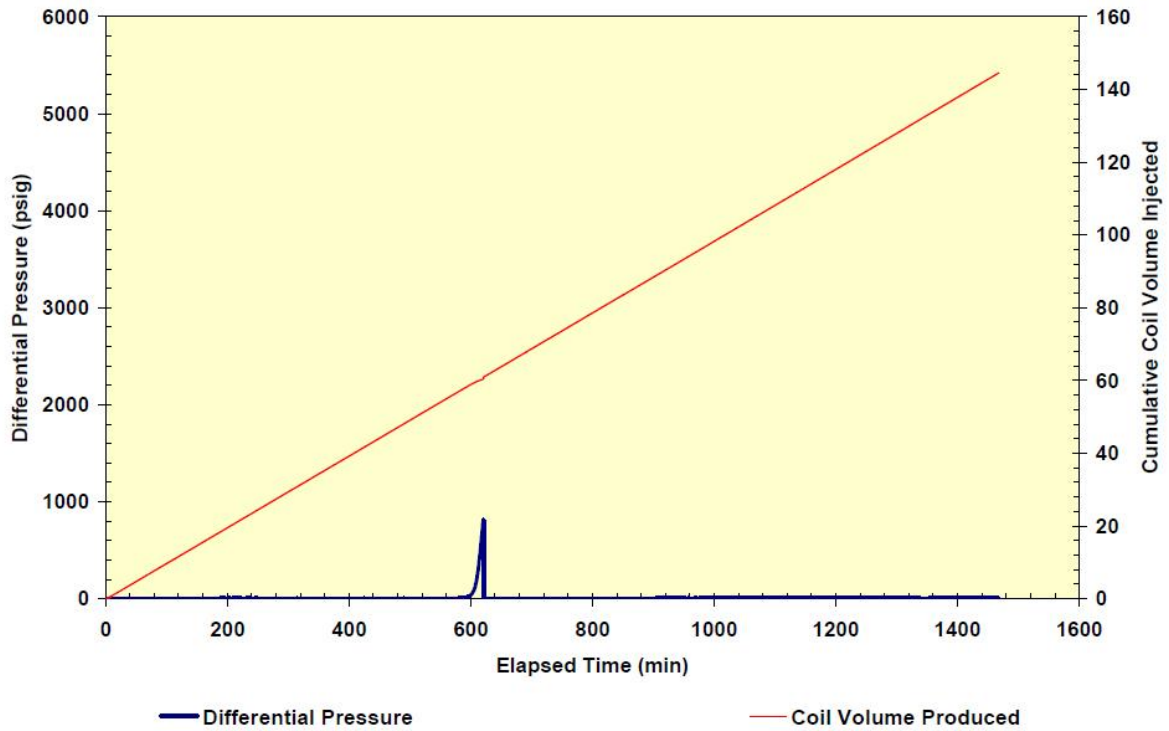
[rechte Achse]  
In die Rohrschlange eingespritzte Gesamtmenge

[untere Achse]  
Verstrichene Zeit (min)

- Differenzdruck

- In der Rohrschlange produzierte Menge

**Abbildung 3**  
**Kesselsteintest Nr. 3**  
**(mit Clearwell-Gerät)**



[linke Achse]  
Differenzdruck (psig)

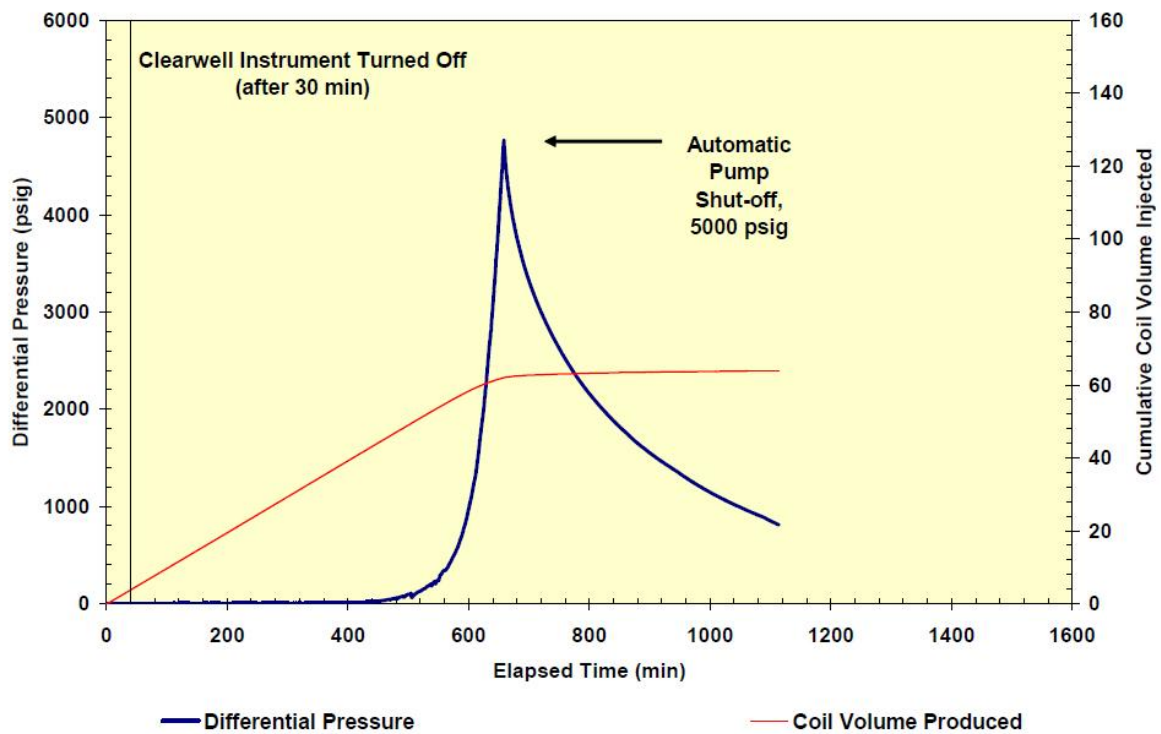
[rechte Achse]  
In die Rohrschlange eingespritzte Gesamtmenge

[untere Achse]  
Verstrichene Zeit (min)

- Differenzdruck

- In der Rohrschlange produzierte Menge

**Abbildung 4**  
**Kesselsteintest Nr. 4**  
**(ohne Clearwell-Gerät)**



Ausschalten des Clearwell-Gerätes (nach 30 Minuten)

Automatische Abschaltung der Pumpe, 5000 psig

[linke Achse]  
Differenzdruck (psig)

[rechte Achse]  
In die Rohrschlange eingespritzte Gesamtmenge

[untere Achse]  
Verstrichene Zeit (min)

- Differenzdruck

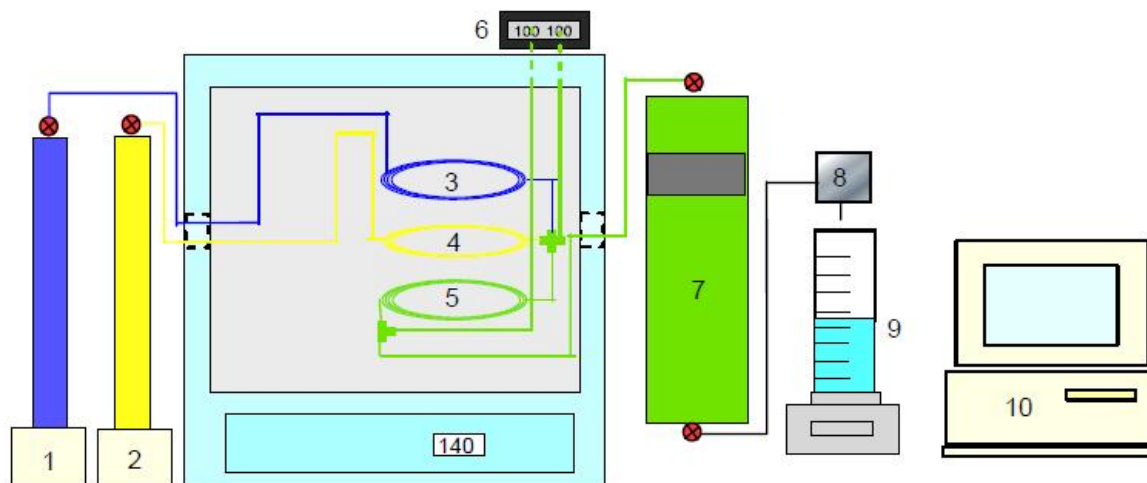
- In der Rohrschlange produzierte Menge

**ANHANG**

**Diagramm des Tube-Blocking-Gerätes**

## Westport Technologie - Einrichtung der Kesselstein-Tube-Blocking-Methode

Datum: 14.11.2004  
Zeichnung von: Jeremy Rohan



- 1) Pumpe Sole 1
- 2) Pumpe Sole 2
- 3) Der Mischschlange vorgeschaltete Rohrschlange Sole 1
- 4) Der Mischschlange vorgeschaltete Rohrschlange Sole 2
- 5) Prüfschlange
- 6) Digitaler Druckmesser Heise PM1 am Eingang & Ausgang der Prüfschlange
- 7) Speicher für die produzierte Flüssigkeit
- 8) Backpressure-Regulator
- 9) Messzylinder
- 10) Datenerfassungssystem

---

Die Richtigkeit und Vollständigkeit der Übersetzung aus der englischen Sprache wird bestätigt. Die Übersetzung besteht aus dreizehn (13) Seiten.

St. Augustin, den 15.12.2008 .....