

KMS Technologies - KJT Enterprises Inc.

Presentation

Strack, K. – M.

2004

**New Technologies in Borehole
Geophysics**

Neubauer Honorarium Kolloqium,
University of Köln



New Technology in Borehole Geophysics in honor of

**K.M. Strack
KMS Technologies**

May 2004



Outline

- Prof. Neubauer's contribution to logging technologies
- Designed the initial IWL.. Today known as array induction
- Spawned 3D borehole gravity
- Nurtured borehole TEM

Results from Cologne concepts

Commercial tools:

- Array induction
- Array laterolog
- Multi-component induction
- Resistivity log inversion
- Through Casing Resistivity
- Many byproducts: imaging, acoustic, VSP

In progress:

- Full Field Density Modeling
- Deep Geosteering

Results from Cologne concepts

Commercial tools:

- **Array induction**
- Array laterolog
- **Multi-component induction**
- Resistivity log inversion
- Through Casing Resistivity
- Many byproducts: imaging, acoustic, VSP

In progress:

- **Full Field Density Modeling**
- **Deep Geosteering**

IWL specs

BESONDERE MERKMALE DER IWL — BOHRLOCHSONDE

AKTIVE SENDER - EMPFÄNGER - ANORDNUNG .

- MEHRERE FREQUENZEN VON 1 KHZ — 300 KHZ
(6 ODER 8 SCHMALE BÄNDER)
- DREI ABSTANDSBEREICHE MIT FOKUSSIERUNG
- NEBENSONDE MIT SENDER IN 25 M ABSTAND

PASSIVER EMPFANG MAGNETISCHER SIGNALE :

- FREQUENZBEREICH 1 KHZ — 10 MHZ
SPEKTRALAMPLITUDENMESSUNG IN FILTERBANK ODER SWEEP-RECEIVER

BREITER BEREICH VON MESSBAREN EL. LEITFÄHIGKEITEN DES GEBIRGES : (FÜR SPÜLUNGSLEITF. $\sigma_s \leq 0.1$ S/m)

- BIS HERUNTER ZU 10^{-4} S/m
- MIT NEBENSONDE BIS $\leq 10^{-6}$ S/m

HOHER TEMPERATURBEREICH :

- MIND. 12 STUNDEN FUNKTION BEI 300 °C UMGEBUNGSTEMP.

INTEGRIERTES MESS- UND DATENVERARBEITUNGSSYSTEM

Possible developments

MÖGLICHE GEMEINSAME ENTWICKLUNGEN BZW. EINRICHTUNGEN

KABELKOPF UND -ANSCHLUSSTÜCK

KABEL

DEWARS

TELEMETRIESYSTEM : EMPFÄNGER UND DATENFORMATE
KOMMANDOSENDE

ZENTRALE BAUTEILEBESCHAFFUNG ?

STANDARD-TOOL OHNE MESSSENSOREN ?

DRUCK- UND TEMPERATURMESSSENSOREN

TESTKAMMER FÜR HOCHDRUCK U. HOCHTEMPERATUR

TESTBOHRUNGEN INCL. KABEL, KABELWINDE, ETC.

Status 3/84

IWL : STAND DER ARBEITEN 1.MÄRZ 1984

1. AUSWAHL VON MATERIALIEN FÜR SONDENSTRUKTUR:
(GERINGES σ , HOHE FESTIGKEIT BEI 300 °C)
2. ANGEBOTE FÜR DEWAR
3. DETAILENTWURF SENDER
- 4. DETAILENTWURF EMPFÄNGER, ANALOGTEIL
5. TESTMÖGLICHKEITEN
6. PROGRAMM FÜR SIMULATION BEI BELIEBIGEM $\sigma(\rho, z)$
7. KONSTRUKTION VON DIGITALEN FILTERN FÜR
AUSWERTUNG
- 8. MARKTFORSCHUNG HOCHTEMPERATURBAUTEILE

PROBLEME :

FEHLENDE FINANZIERUNG BZW. ZEITPLAN

DATENÜBERTRAGUNGSRATE

FEHLENDER INFORMATIONSFLUSS

Design notes 3 Dewar design

- Sonden geometrie [1] Länge: Gesamtlänge max. 2,5m (verbind.)
 Einzelstücke max. 3,5m (emp. fehlen, nicht verbindlich!)
 Vorschlag, Stand: 6.3.1983. GZ

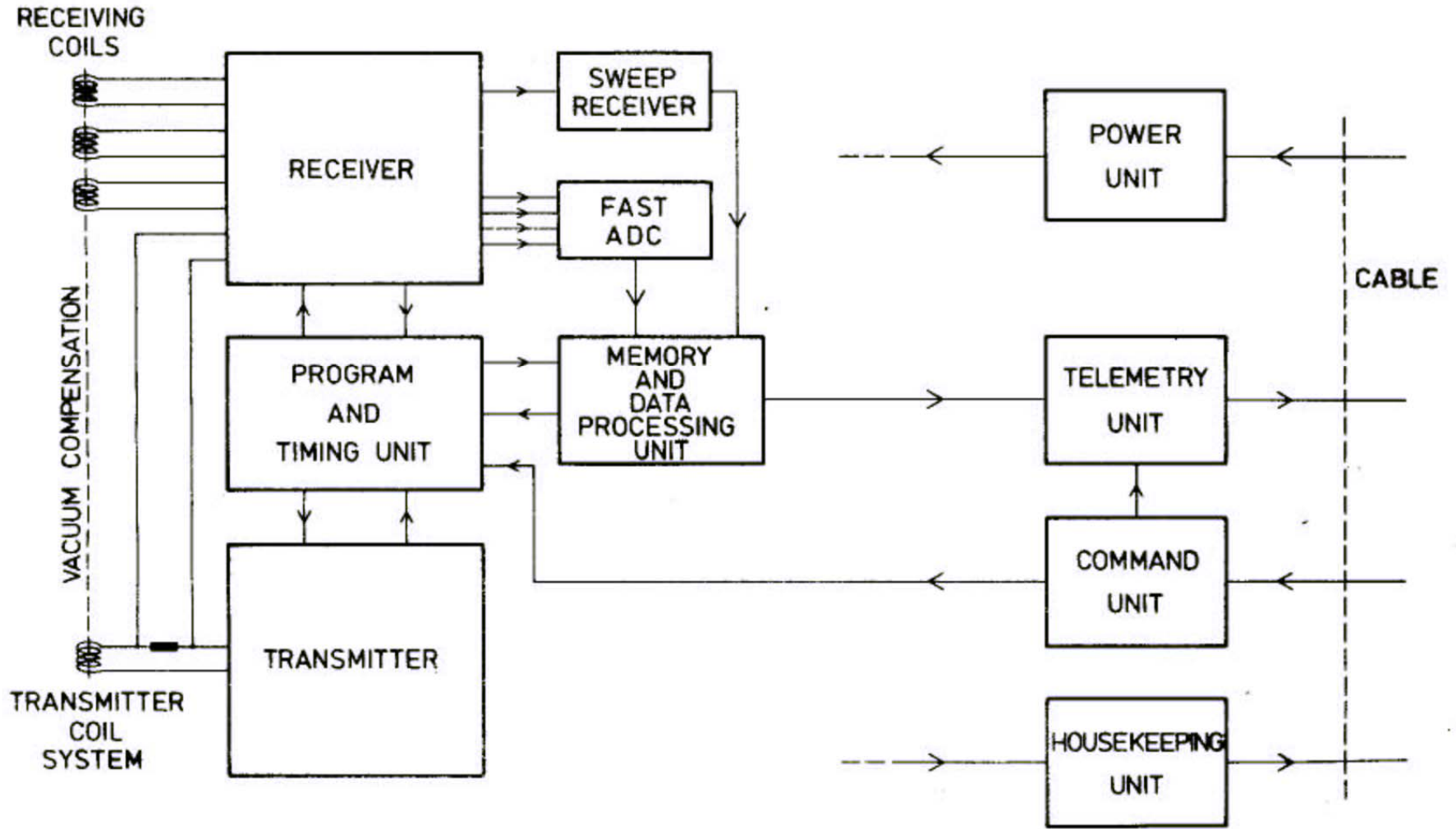
Durchmesser

Kabelkopf ϕ Service Ind. Std.	Min. Weiszel ϕ KTB	Sonden ϕ ARGE-2	Halber Freiraum (Radius)
92 mm ($3\frac{5}{8}$ ")	211 mm ($8\frac{1}{2}$ ") [159 mm ($6\frac{1}{4}$ ")]	130 mm (≈ 5 ") oder 92 mm ($3\frac{5}{8}$ ")	40 mm* 60 mm*

* einatz beschränkende Minimalforderung nach Angaben der Service Industrie ≈ 10 mm

IWL block diagram

IWL - BLOCK DIAGRAM



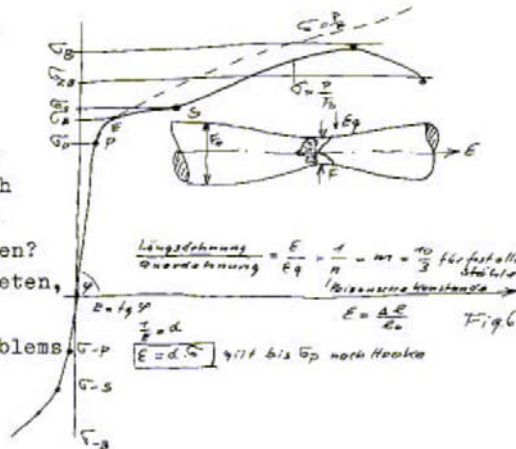
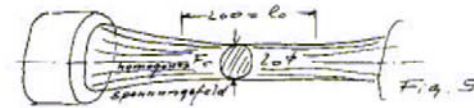
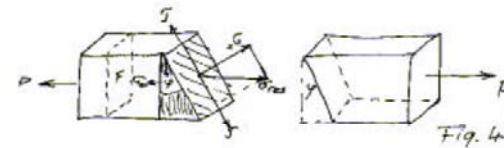
Design notes 1

wäre erheblich kleiner, wenn die Einbauten gestatten würden, in der Mitte eine Scheibe 40 Ø 25 dick einzulegen und die beiden Böden 50 cm dick nicht so starr auszuführen, damit sie nachgeben können. Klöpper- + Korbogenböden nimmt der Apparatebauer: 1. Man muß erst etwas (aus Gummi) entworfen haben, ehe sich das oft sehr aufwendige Rechnen lohnt. 2. Man braucht die Zustimmung des Elektronikers, sobald man bei der Formgebung auf eine neue, für die eigene Teilaufgabe nützliche Idee kommt. Die Scheibe 40 Ø x 25 kann natürlich ein oder mehrere Löcher bekommen. Lassen wir sie mal weg und rechnen wir für die Körperelemente im Querschnitt (1) die Spannung aus. Auszüge aus dem Dubbel geben einen sehr komprimierten Überblick über die Spannungshypothesen und überhaupt die Festigkeitslehre. Es wäre nützlich, in einem der vielen Lehrbücher nachzulesen.

Die Bruchspannung beim Zugversuch an eine ideal geformte Probe, Fig. 5 ist das, was der Werkstoffforscher beisteuert, alle Punkte des Diagramms, wobei P und E s e h r wichtig sind. Fig. 5 Das homogene Spannungsfeld berechtigt zu der Beziehung $G = \frac{P}{F_0}$ der elementaren Festigkeitslehre.

Den Vierkantstab, Fig. 4 kann man nicht so einfach beurteilen. Wie will man denn die Kraft P anbringen? Eventuell mit einem Magneten, anders undenkbar!

Das ist der Kern des Problems



Design notes 2

Das waren die örtlichen Spannungen aus $p = 1000 \text{ at}$ ohne Wärmespannungen.

Mit $\eta_{147} = 0,57 \cdot G_{247}$ braucht man einen Werkstoff, der eine Schubspannung von 2052 at mit $1,3$ facher Sicherheit verträgt.

Aber wenn jetzt Wärmespannungen überlagert werden, dann sieht es bös aus.

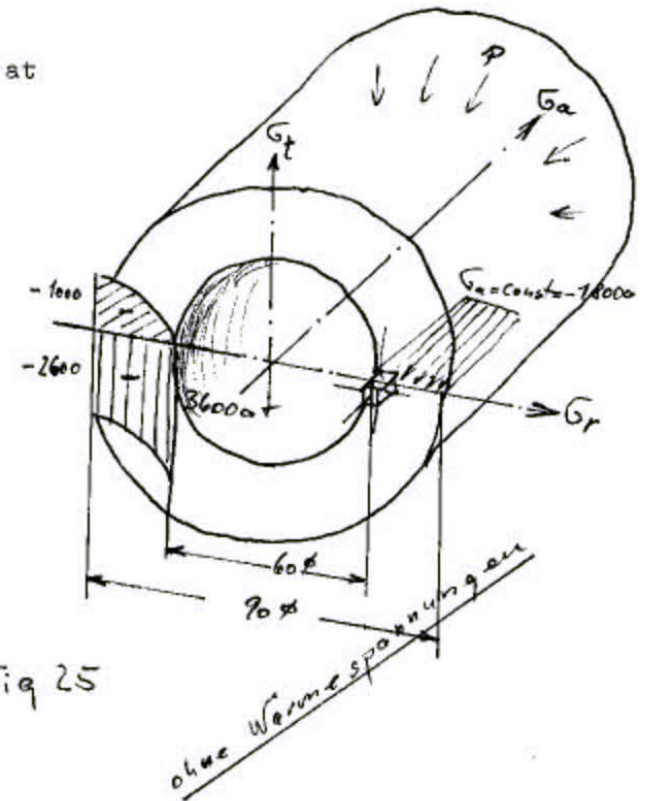


Fig 25

Wir haben bisher nur über die mechanischen Spannungen aus der äußeren Kraft p Gedanken gemacht und mechanische Spannungen aus thermischer Ursache nicht untersucht. Das soll nun geschehen.

Als Kinder hatten wir "Hauch-Lesezeichen" in unseren Schulbüchern (Fig. 26). Es handelte

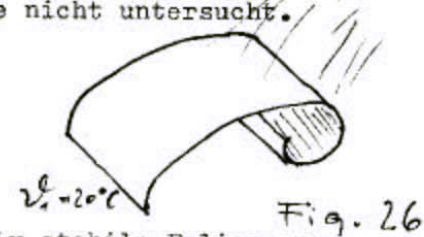


Fig. 26

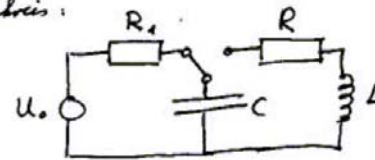
sich um dünne transparente, relativ stabile Folien aus irgendeinem Kunststoff, etwa wie Celluloid oder Gelatine. Bei Zimmertemperatur lag es plan auf dem Tisch. Hauchte man es an, dann rollte es sich auf. Es war natürlich mit Busch- oder Zille-Versen bedruckt, auch mit Bibelsprüchen. Wir wollen es nachrechnen und bauen uns eins aus Stahlblech:

Design notes 4

Entwurfshinweise für einen IL-Sonde des aktivierte Paullements

Eine mögliche Lösung für die Entlastung einer IL-Sonde des aktivierte elektronische Paullements, die bei über Temperaturgrenzen funktioniert, oder die diese erfordern, besteht in der Kombination einer Schaltung aus mechanischen Paullementen (Kommutatoren, Relais) und passiven elektronischen Paullementen wobei natürlich Hochtemperaturfähigkeit angenommen werden sollte.

Wir betrachten die Entladung eines Kondensators C über die Paullemente R und L im folgenden einfachen Schaltkreis:



Wenn der L -Kreis geschlossen ist, fließt ein Strom

$$I(t) = \underbrace{C U_0 \left(\omega + \frac{1}{\tau^2 \omega} \right)}_{I_0} \sin \omega t e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

mit
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (2a)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2b)$$

$$\tau = \frac{2L}{R} \quad (2c)$$

Die Aufladung des Kondensators erfolgt über die Stromquelle U_0

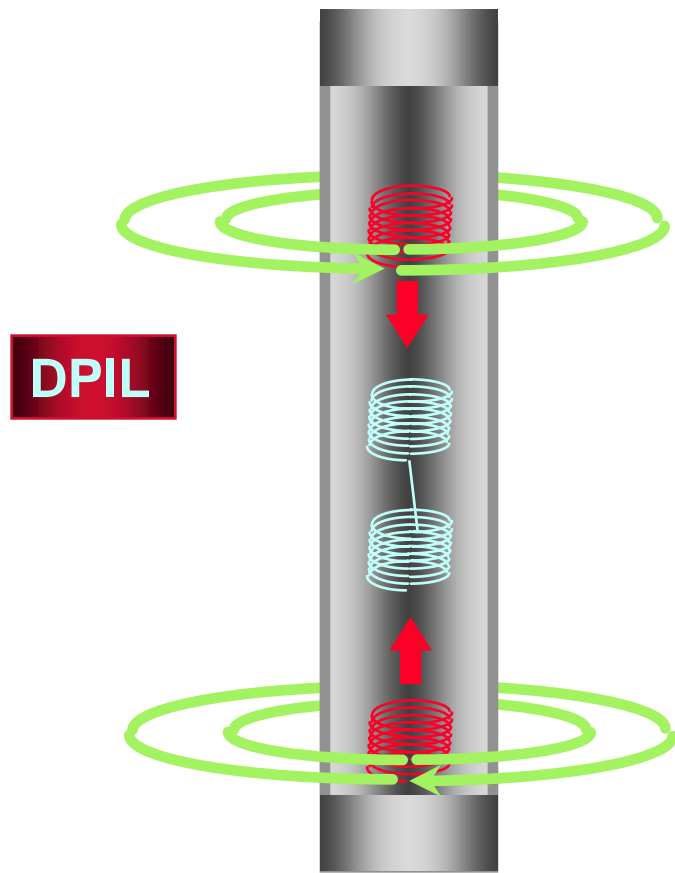
mit
$$I(t) = \frac{U_0}{R_1} e^{-\frac{t}{R_1 C}} \quad (3a)$$

wobei wir $\tau_1 = R_1 C$ definieren.
$$(3b)$$

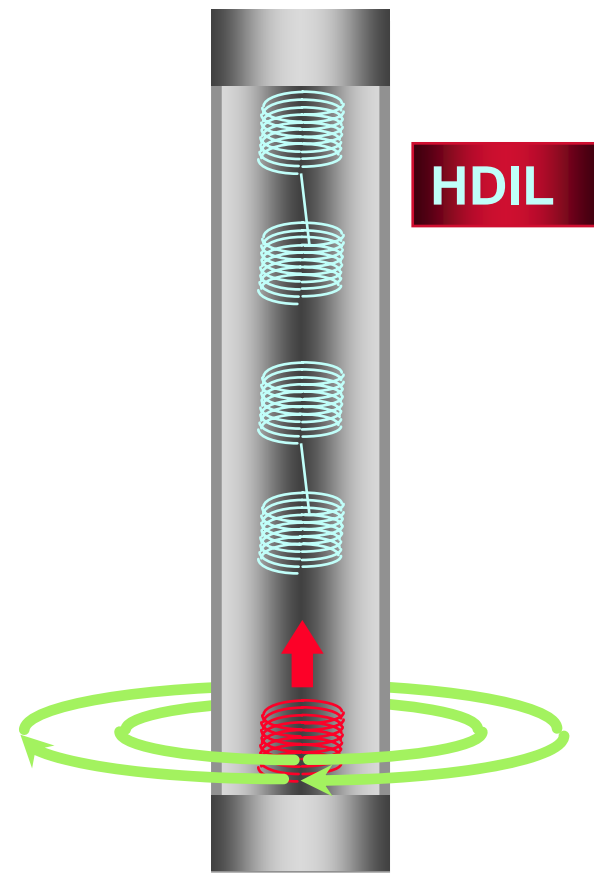
Array induction requirements

- Multiple depths of investigation
- Multiple vertical resolution (improved!)
- Increased depth of investigation
- More reliable measurements
- Streamlined interpretation

From meters to acquisition systems



Apparent R_t

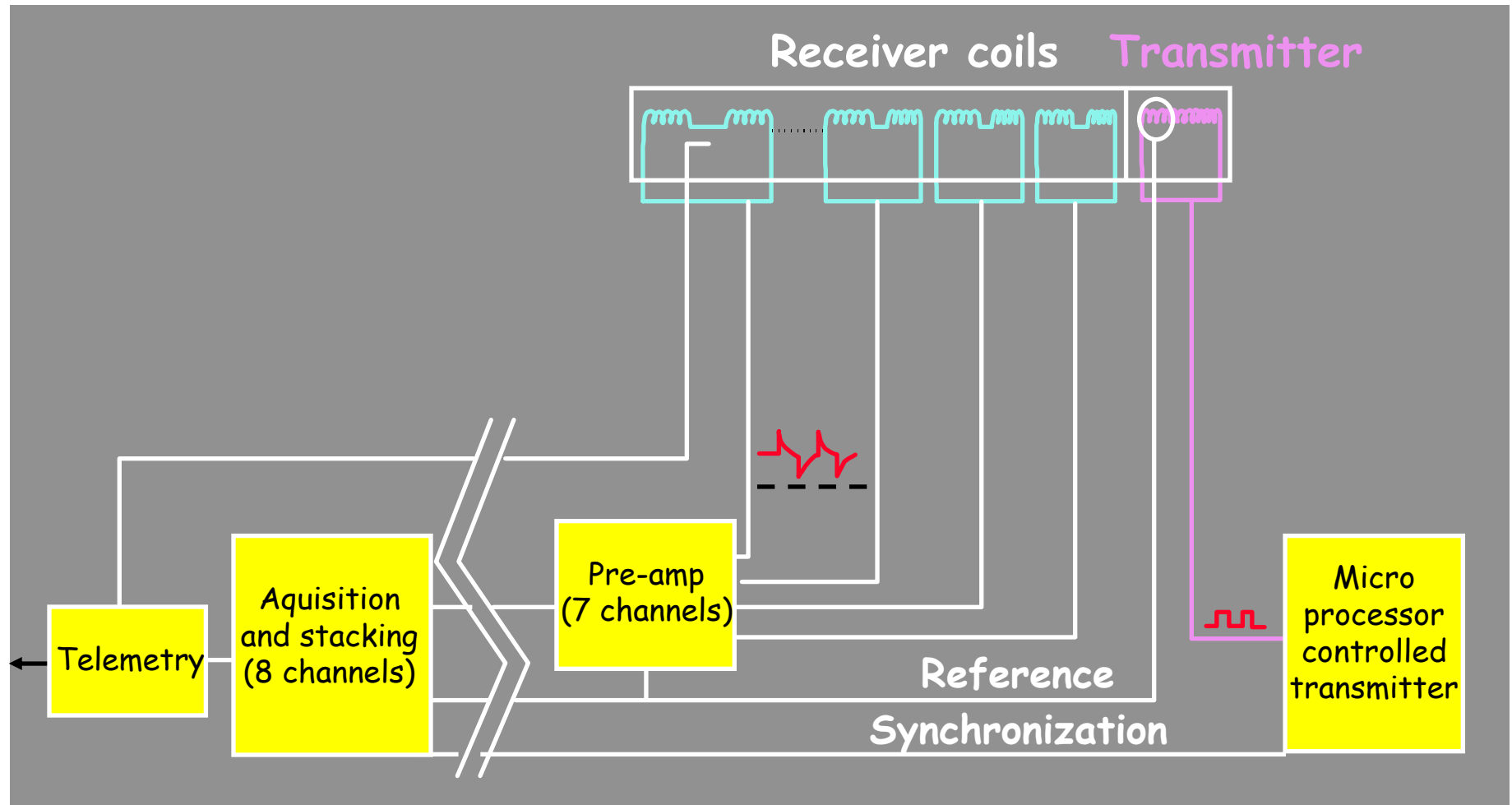


Raw Array \rightarrow Data Inversion \rightarrow R_t

After Strack et al., 1998

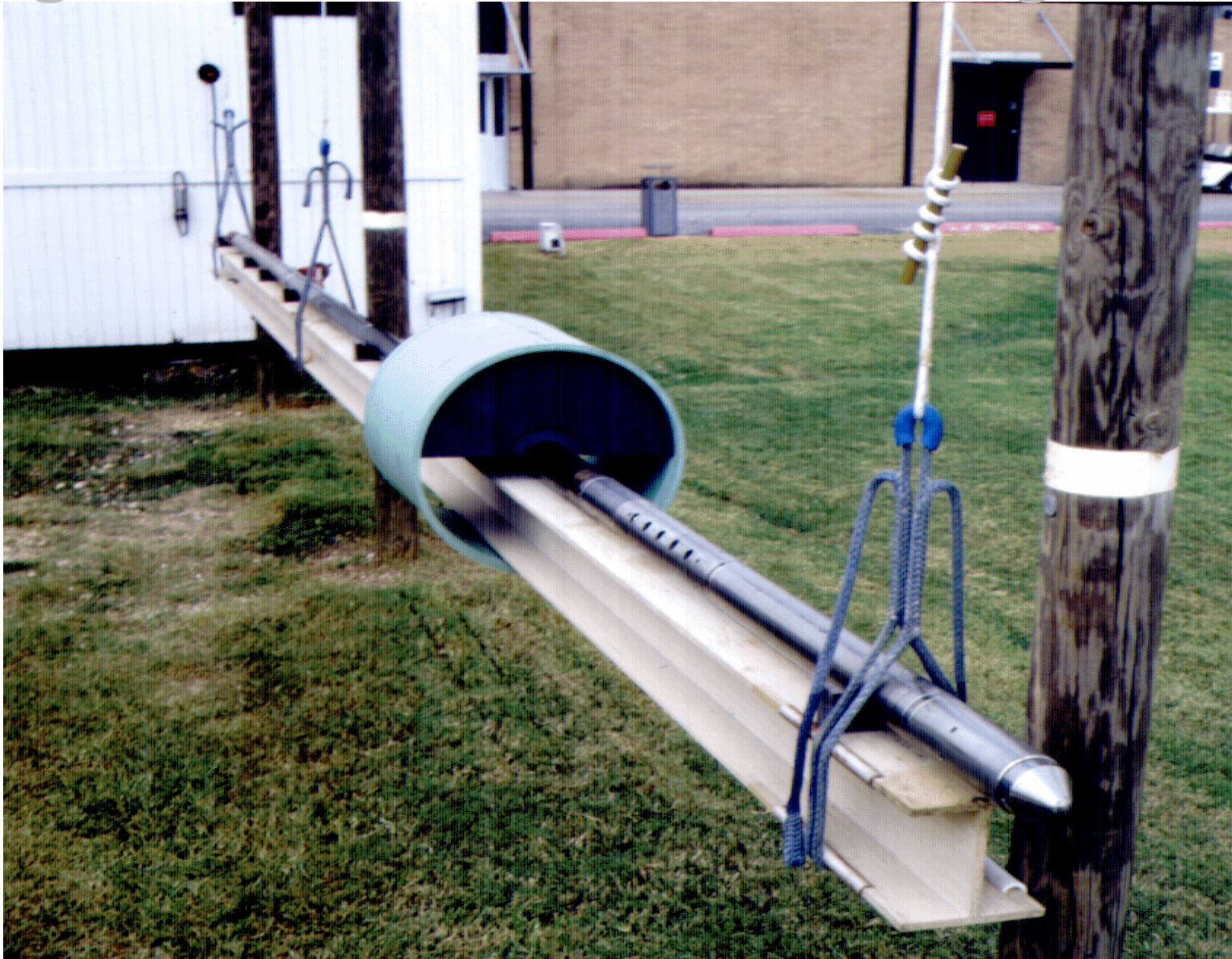
© Copyright KJT Enterprises Inc.

High Definition Induction Log (HDIL)



After Strack et al., 1998

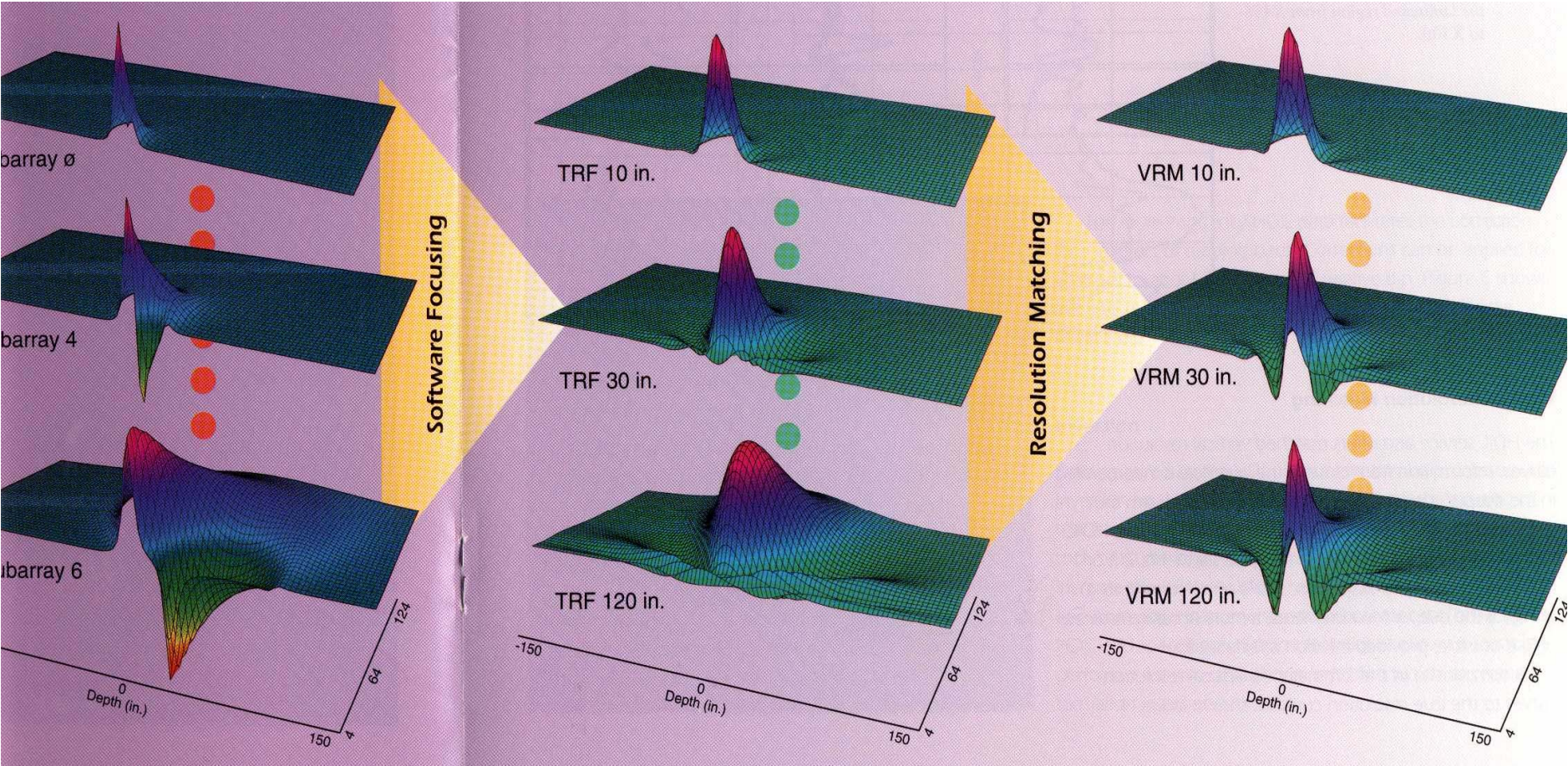
High Definition Induction Log



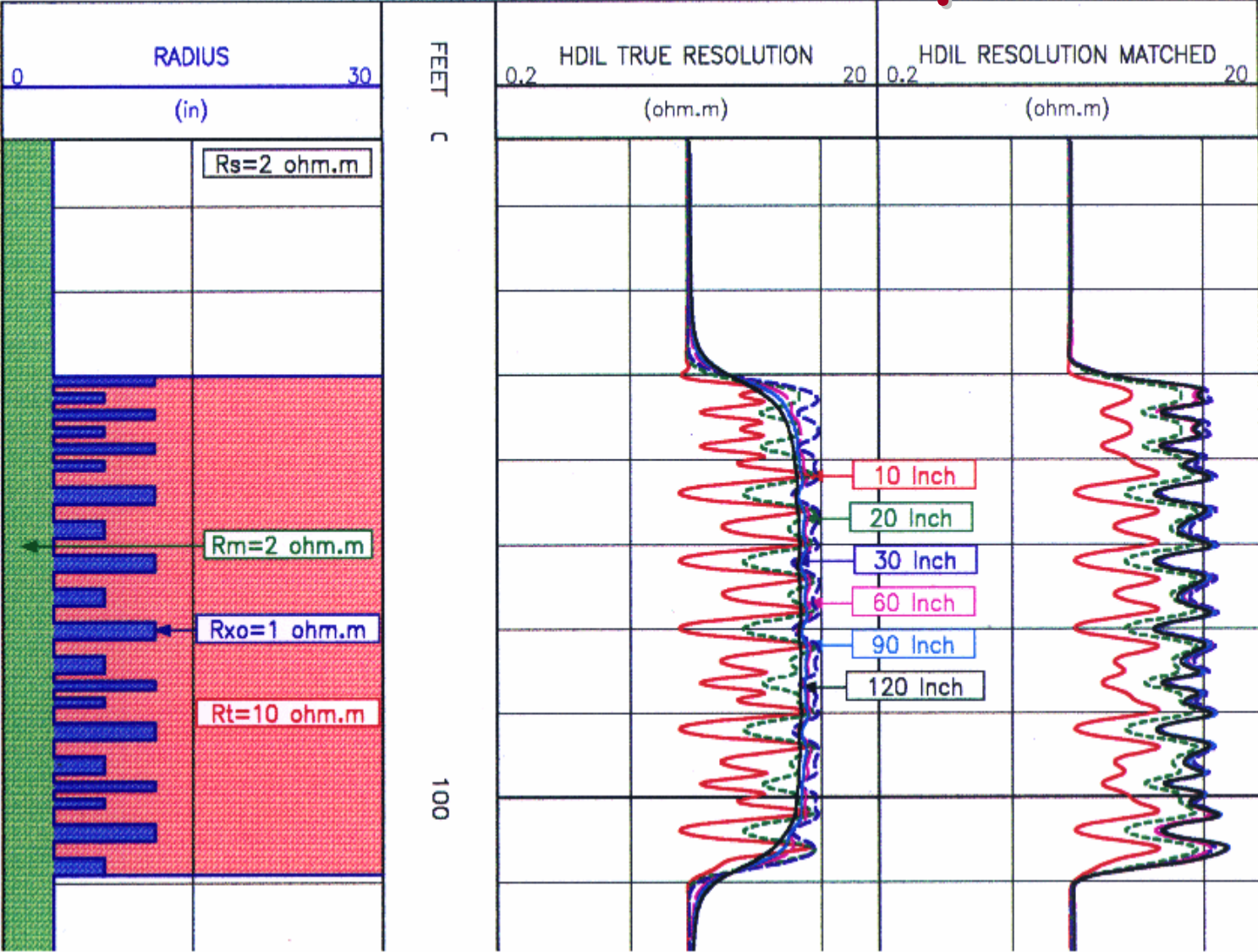
© Copyright KJT Enterprises Inc.

Courtesy Baker Atlas

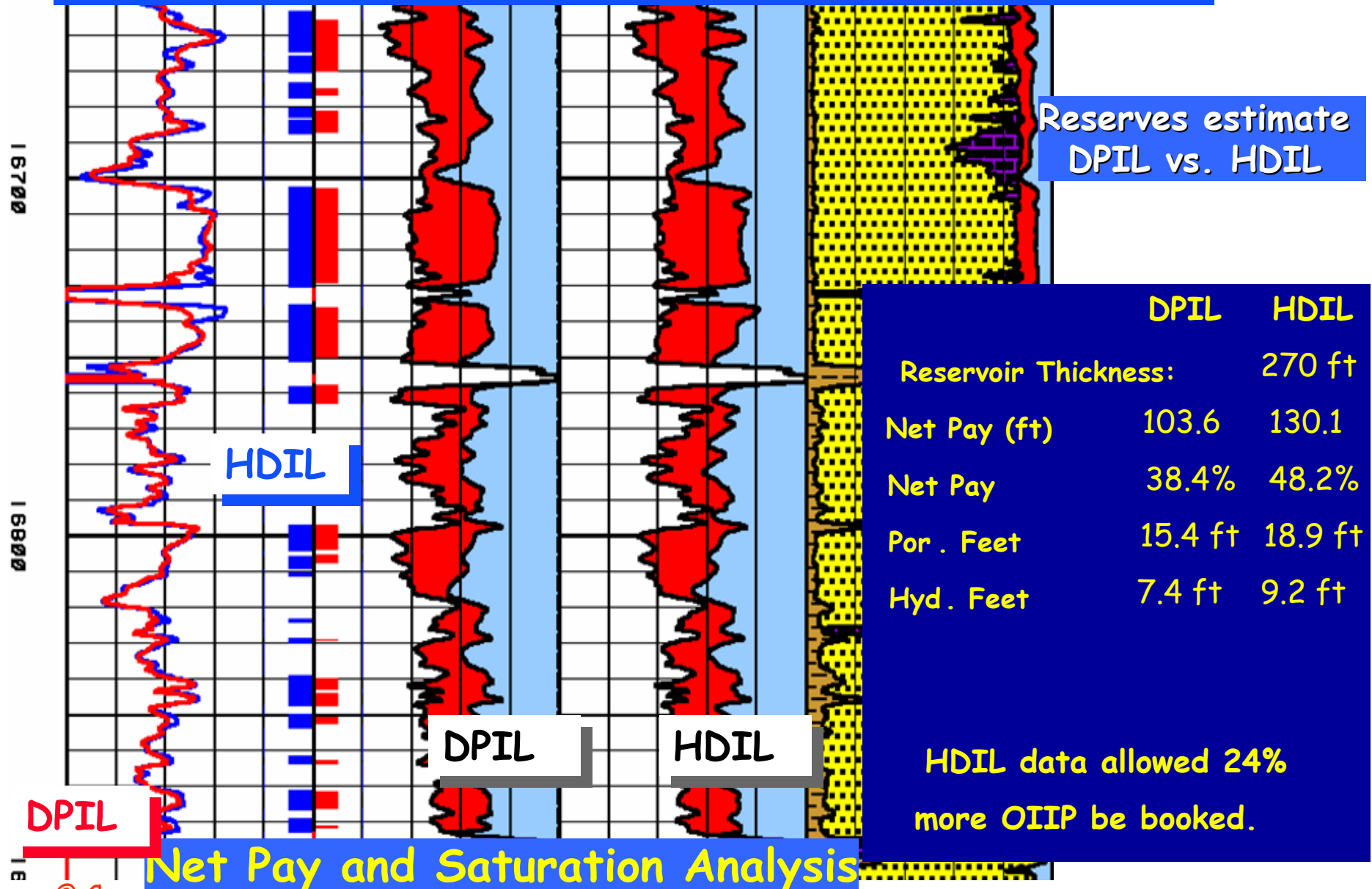
HDIL processing



Resolution matched example



Step change through hardware



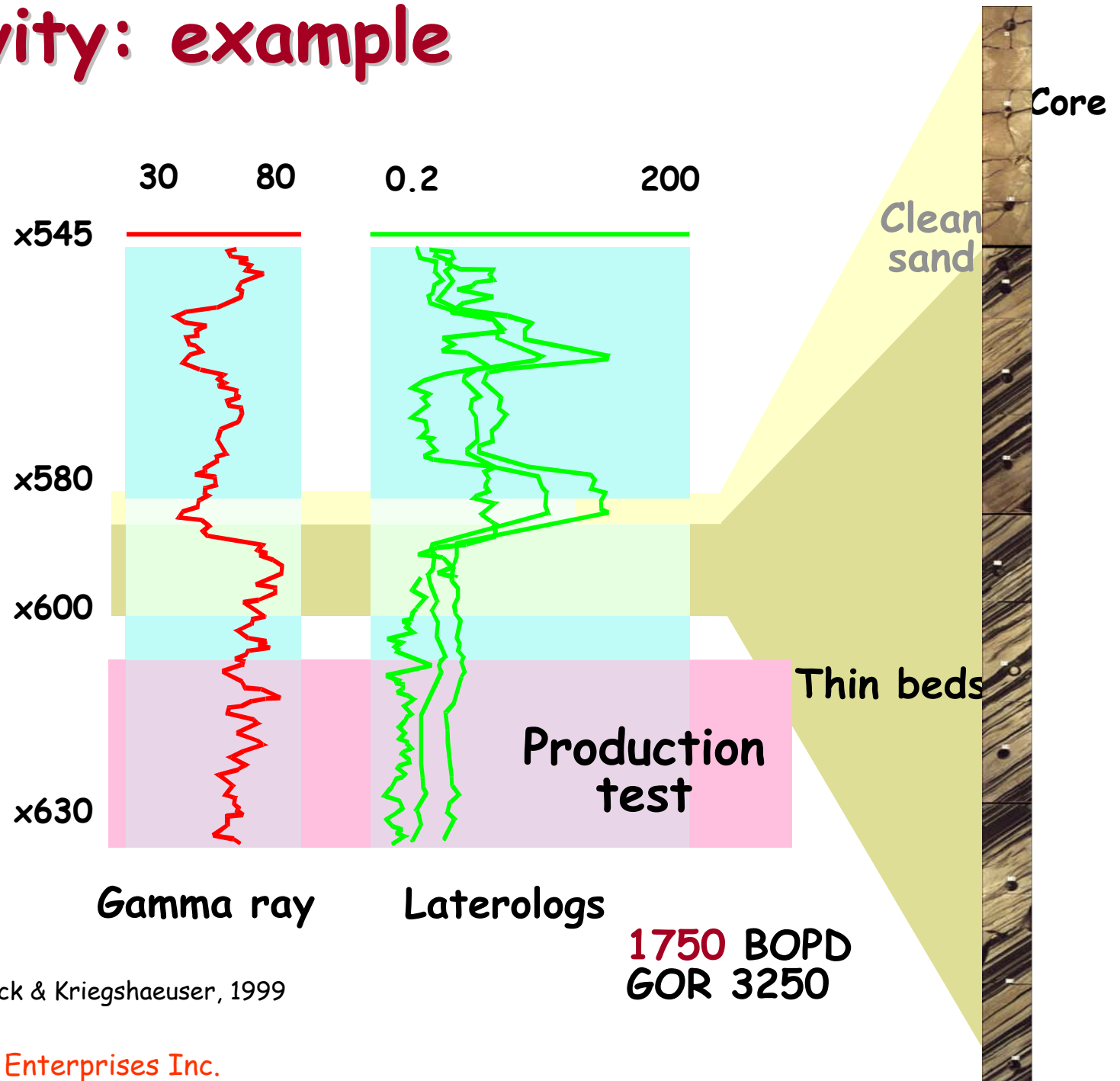
Reserves estimate
DPIL vs. HDIL

	DPIL	HDIL
Reservoir Thickness:		270 ft
Net Pay (ft)	103.6	130.1
Net Pay	38.4%	48.2%
Por. Feet	15.4 ft	18.9 ft
Hyd. Feet	7.4 ft	9.2 ft

HDIL data allowed 24%
more OIIP be booked.

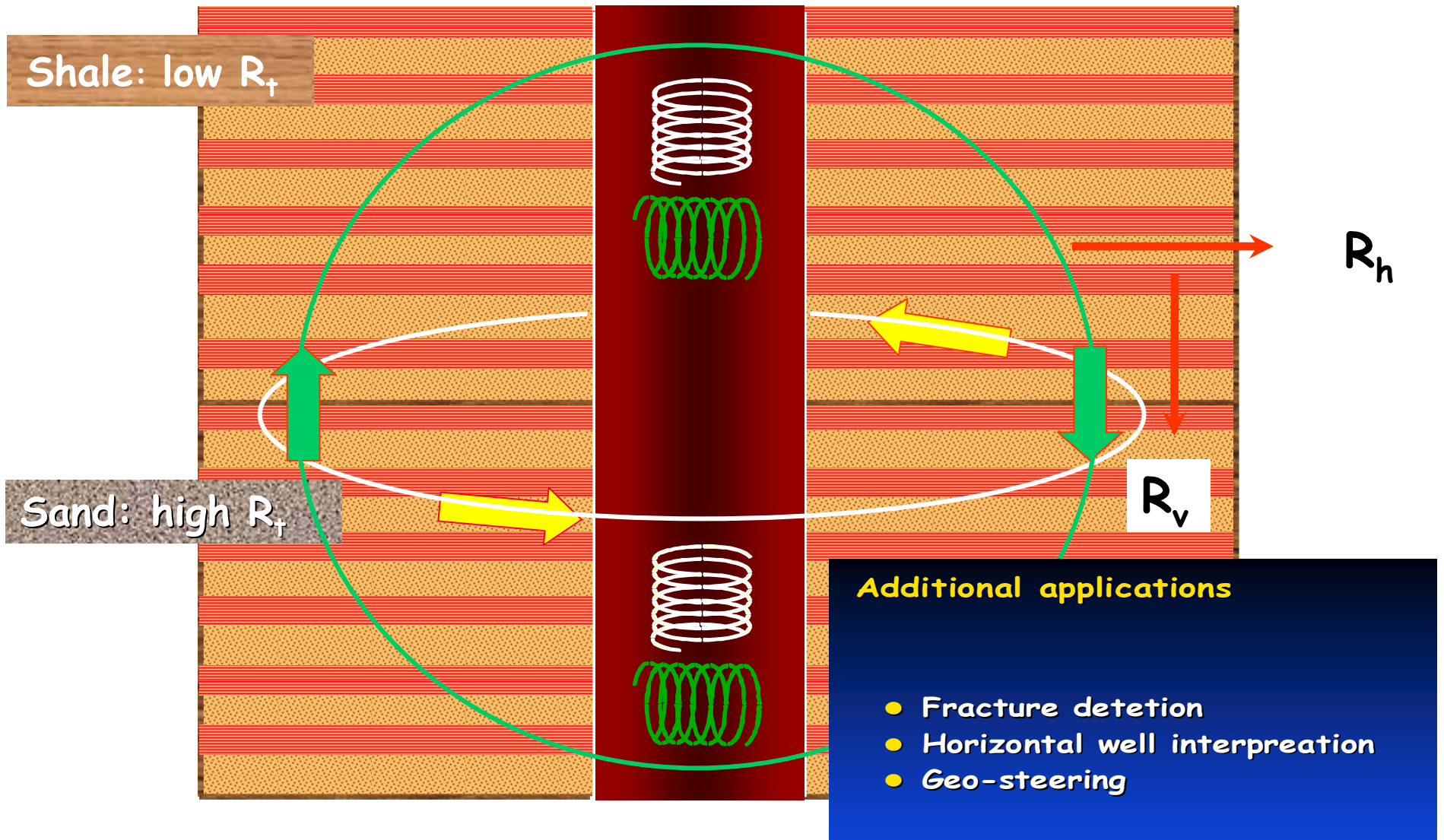
Net Pay and Saturation Analysis

Resistivity: example



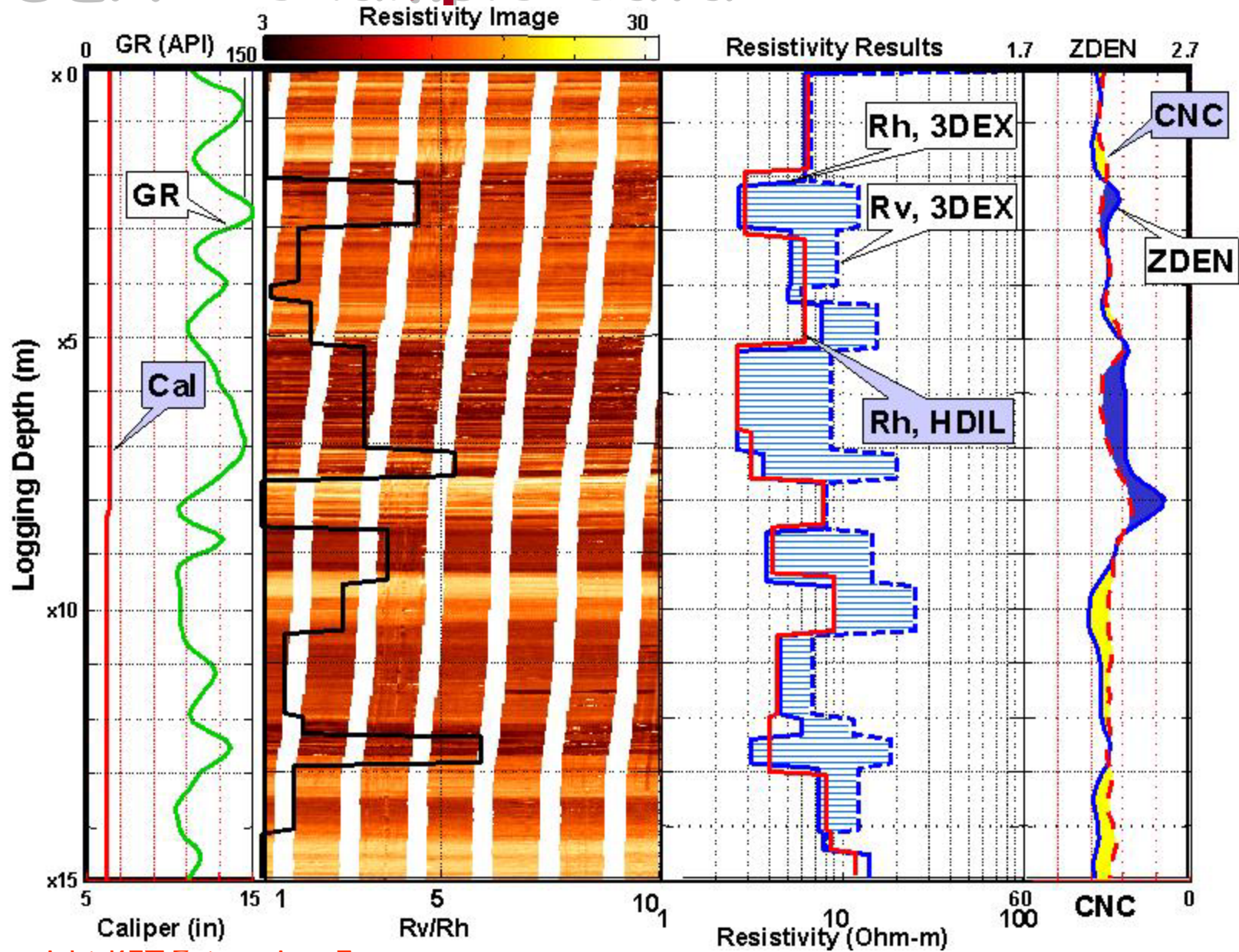
After Strack & Kriegshaeuser, 1999

Transverse Induction logging principle

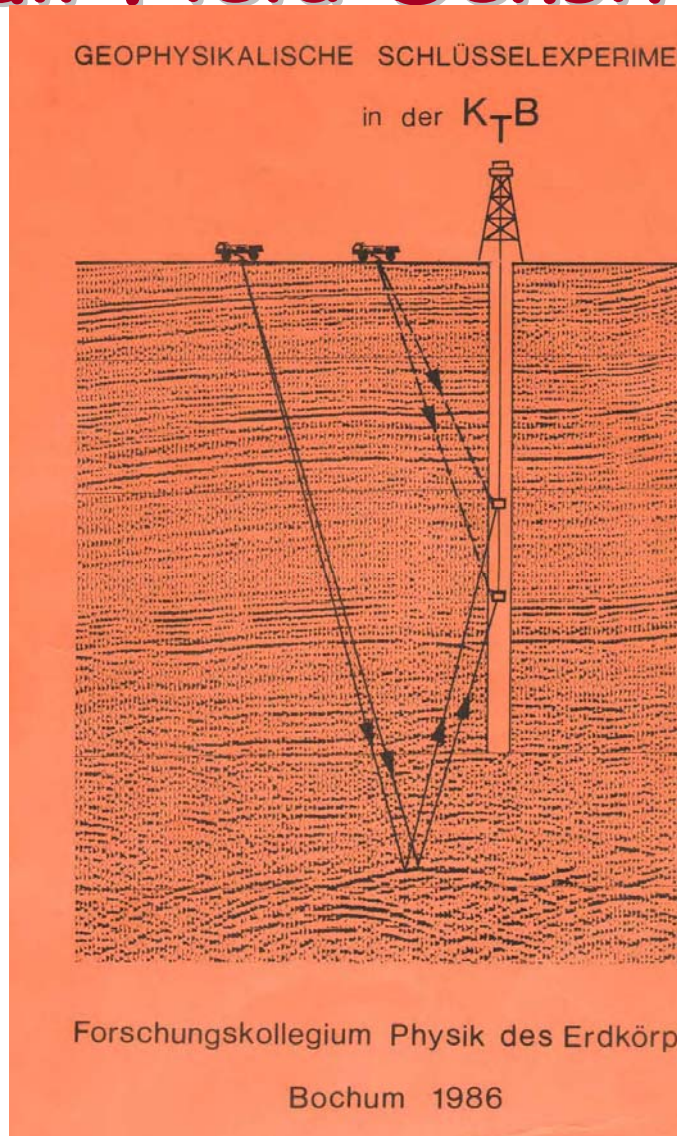


3DEX™ example data

After Yu et al., 2001



Full Field Densit



IX. Analyse der Störungen des Erdschwerefeldes in der kontinentalen Tiefbohrung (Bohrlochgravimetrie)

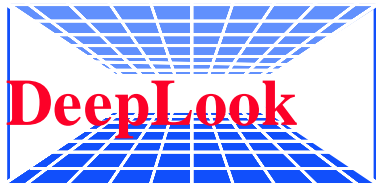
1. Zielsetzung

Die moderne geophysikalische Meßtechnik macht es möglich, auch kleine Störungen des Erdschwerefeldes mit Hilfe von Gravimetern zu vermessen. Da diese Störungen durch die Verteilung der Dichte in der Umgebung des Bohrlochs bestimmt sind, kann man durch Schweremessungen im Bohrloch auf die Dichtestruktur in der Bohrlochumgebung schließen. Schweremessungen über größere Tiefenbereiche erlauben dabei die Analyse der ferneren Umgebung des Bohrlochs (einige km, "langwellige" Störungen), während häufige Schweremessungen über Tiefenintervalle von mehreren Dekametern die Bestimmung der Dichte in der Nähe des Bohrlochs ermöglichen.

Zur in-situ-Dichtebestimmung in Bohrlochern stehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Meßverfahren zur Verfügung:

- das γ - γ -Log
- Messungen mit dem Bohrlochgravimeter (borehole gravimeter, BHGM).

Das γ - γ -Log hat dabei den Vorteil, daß es punktuelle Werte in der unmittelbaren Umgebung des Bohrlochs liefern kann. Aufgrund der geringen Eindringtiefe von rund 15 cm werden die Ergebnisse aber stark durch die Form des Bohrlochs sowie durch den Bohrschlamm und die in das Gestein eingedrungene Bohrspülung (Stichwort: Invasionszone) beeinflusst. Außerdem kann das γ - γ -Log nur in unverrohrten Bohrungen eingesetzt werden.



The Challenge

Breakthrough
needed

Now

Vision
2010

Services - delivery vehicle

Subsurface Sensors

Various
Geoscience tools
Integration

Reservoir Modeling

Surface sensors

Bypassed production
Mis-positioned wells
Low well productivity
Expensive testing
Reserves uncertainty
Aquifer drive ??

70%+ recovery

Optimal well
targeting

Right facilities

Minimum water
production

<35%

70%

(after www.DeepLook.com)

Sensors, methods & applications

After Hottman & Curtis, 2001

Table 1. Sensors that are permanently deployed in wells

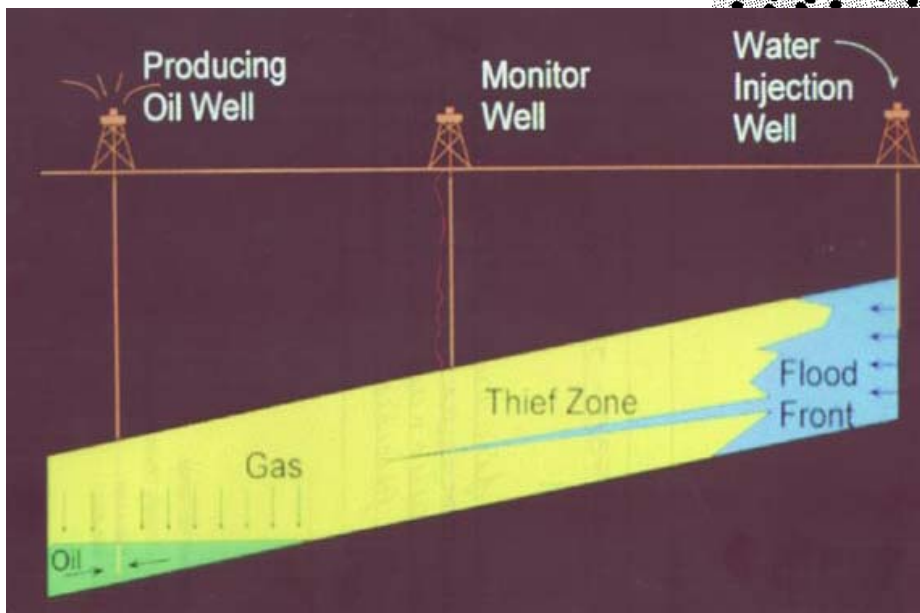
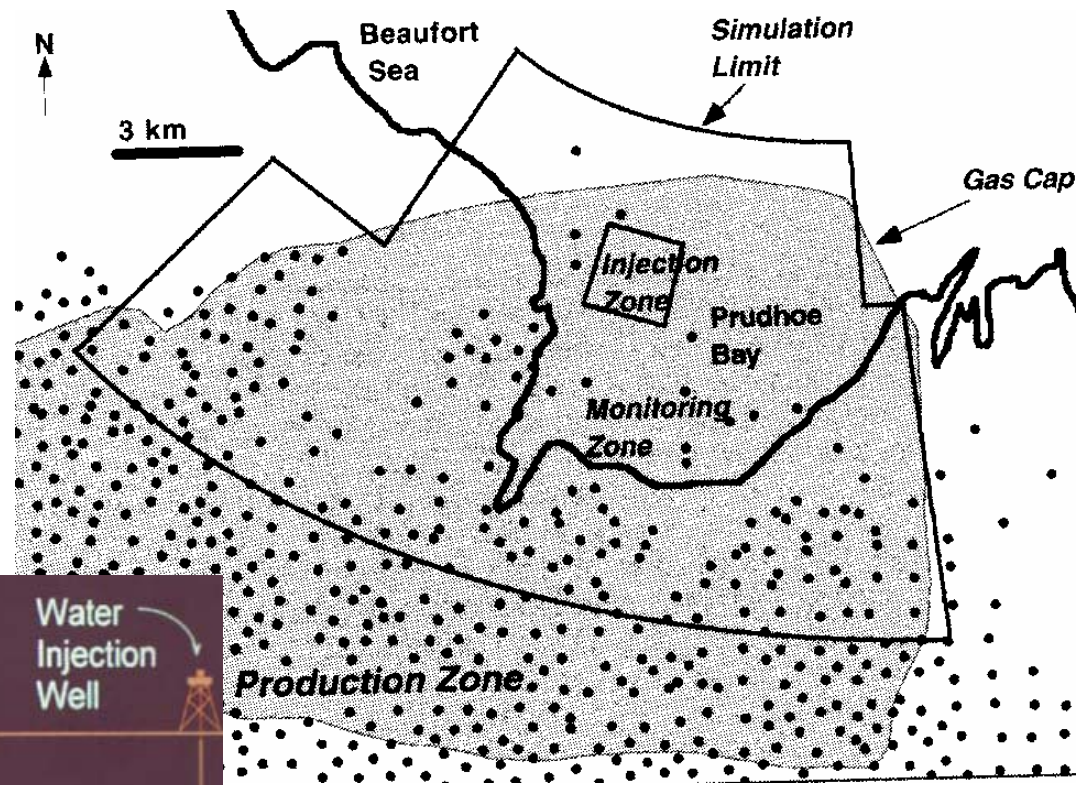
Sensor category	Sensor type	Property measured	Application
Production	Flow	Production & flow rate	Compartment-lization Oil-water front; water saturation
Formation	Composition	Fluid phase, water-cut, GOR	
	Pressure	Reservoir pressure	
	Resistivity & EM	Saturation	
Seismic	Geophones	Temperature of fluid	Gas-liquid front; gas saturation
		Flow behind pipe	
	Vp, S1 & S2		
Noise	Hydrophones	Microfractures (natural & induced)	
		Vp	
	Acoustic	Production noise	
		Sand production	
		Mechanical integrity of pumps	

Gravity

density

porosity, saturation

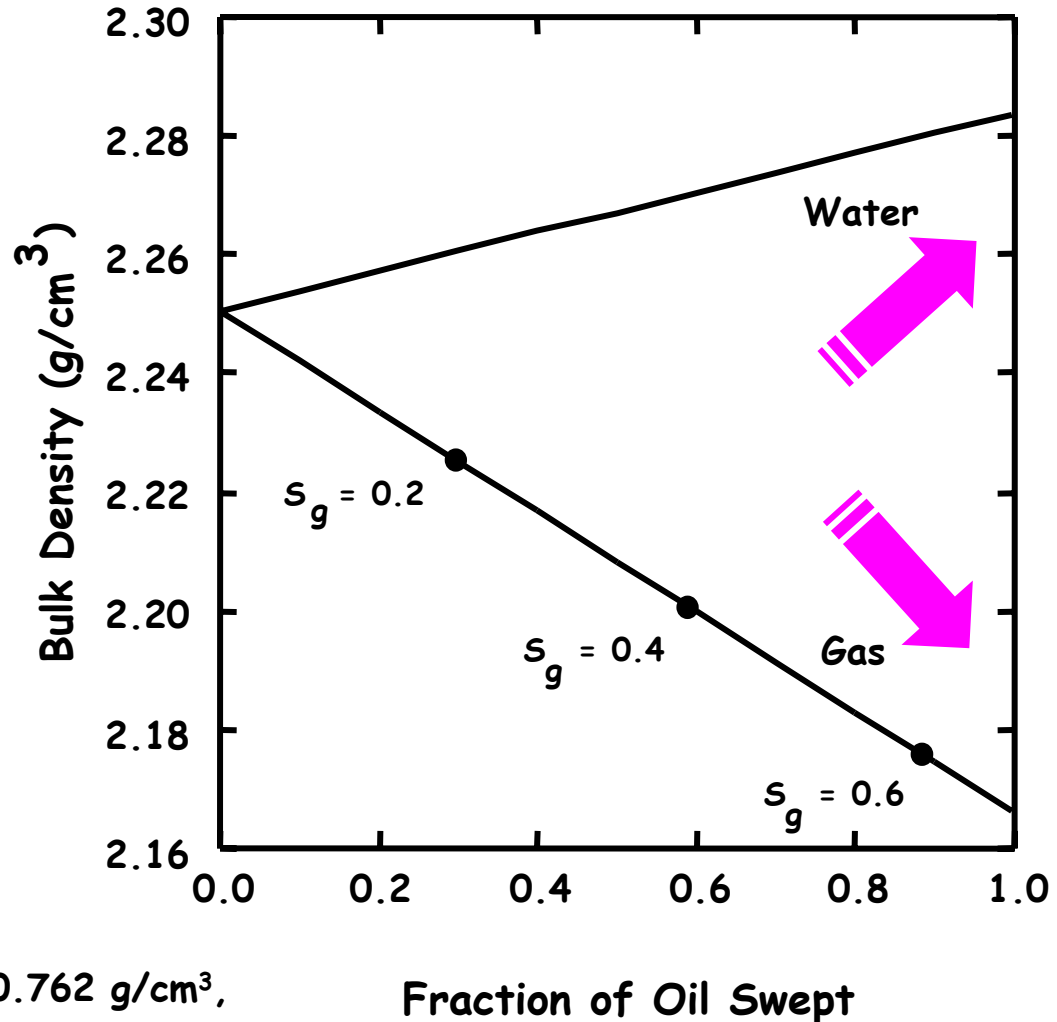
Prudoe Bay Alaska



After Hare et al., 1999

Alaska: Change in bulk density

Fraction of oil replaced
by water or gas



Residual water saturation = 0.32;

$\phi = 0.22$, $\rho_{ma} = 2.65 \text{ g/cm}^3$, $\rho_o = 0.762 \text{ g/cm}^3$,

$\rho_w = 0.986 \text{ g/cm}^3$, $\rho_g = 0.198 \text{ g/cm}^3$.

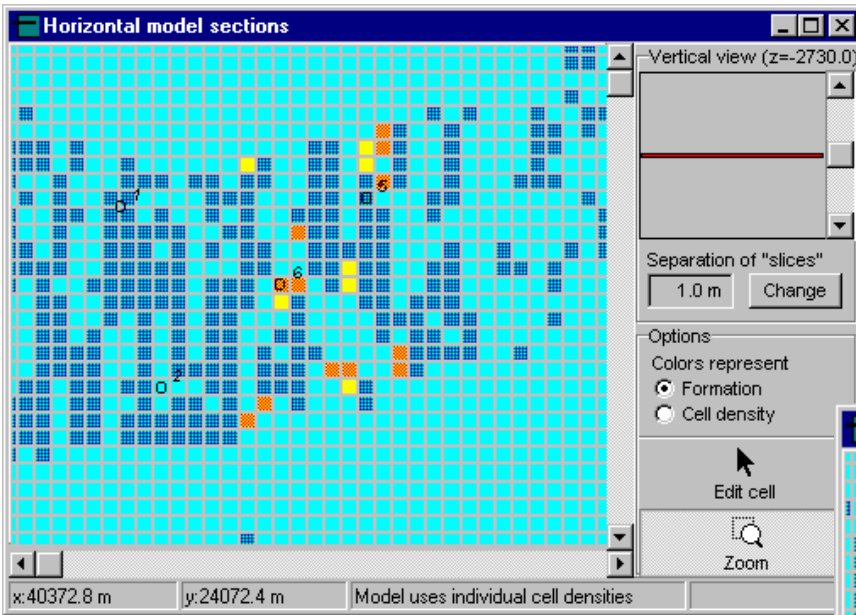
Dots correspond to gas saturations of 20%, 40% & 60%

After Brady, 1998

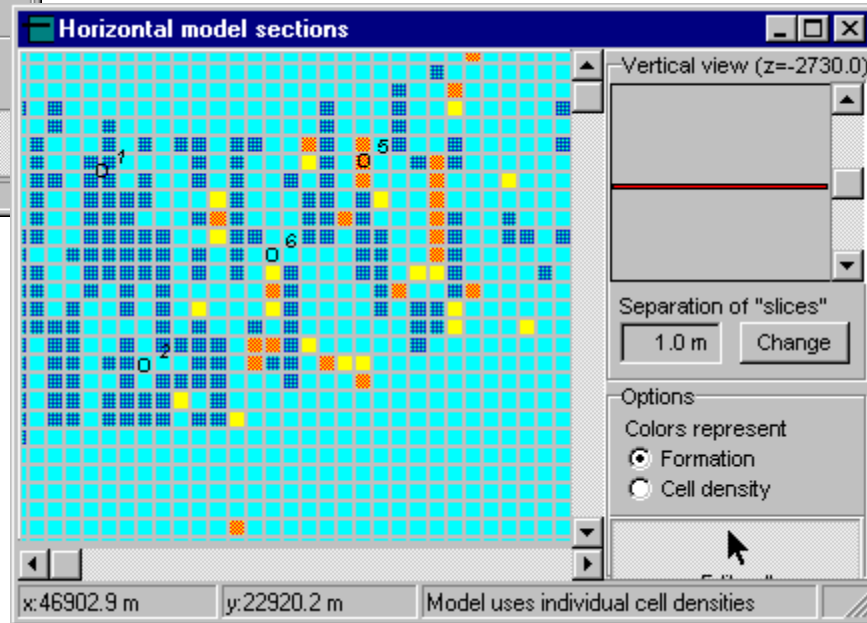
BP Alaska reservoir: summary

- Modeled 3 time steps: 2005, 2009, 2022,
- Displayed only difference data for time steps
- Horizontal section shows GAW movement
- 3 wells give time lapse differences apparent density differences
- Calculated gravity reading in mgal
- Assume worst error of ± 5 microgal
- Gravity differences yield strong signals, well above noise !

Horizontal time slices at 2730 m



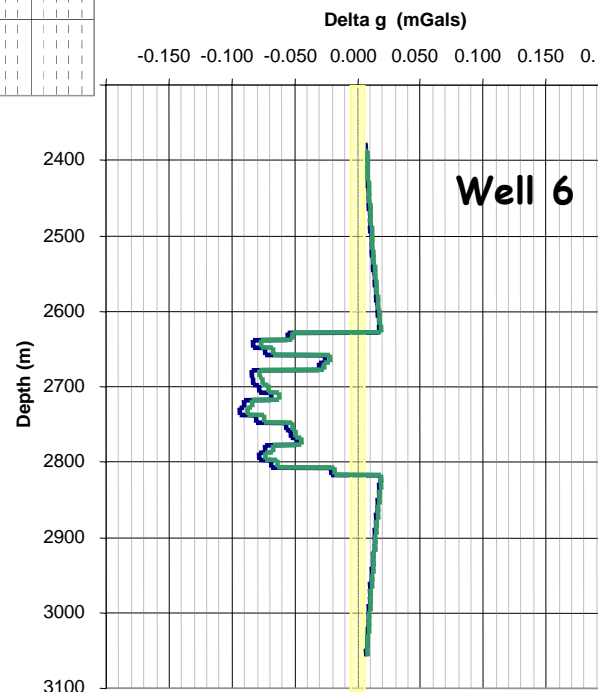
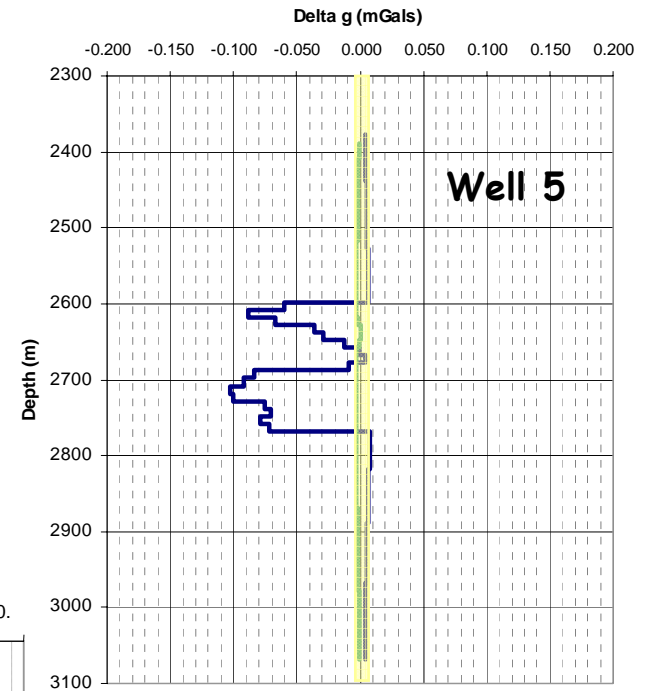
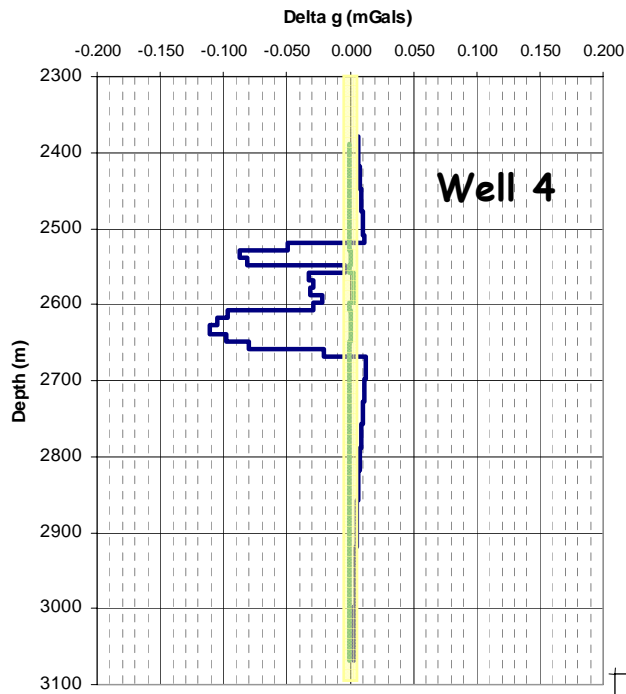
2009-2005



2022-2009

Model formations and densities	
Form10	-0.100
Form13	0.050
Form11	-0.050
Form12	0.000
Form14	0.100
Form15	0.150

(in g/cc)

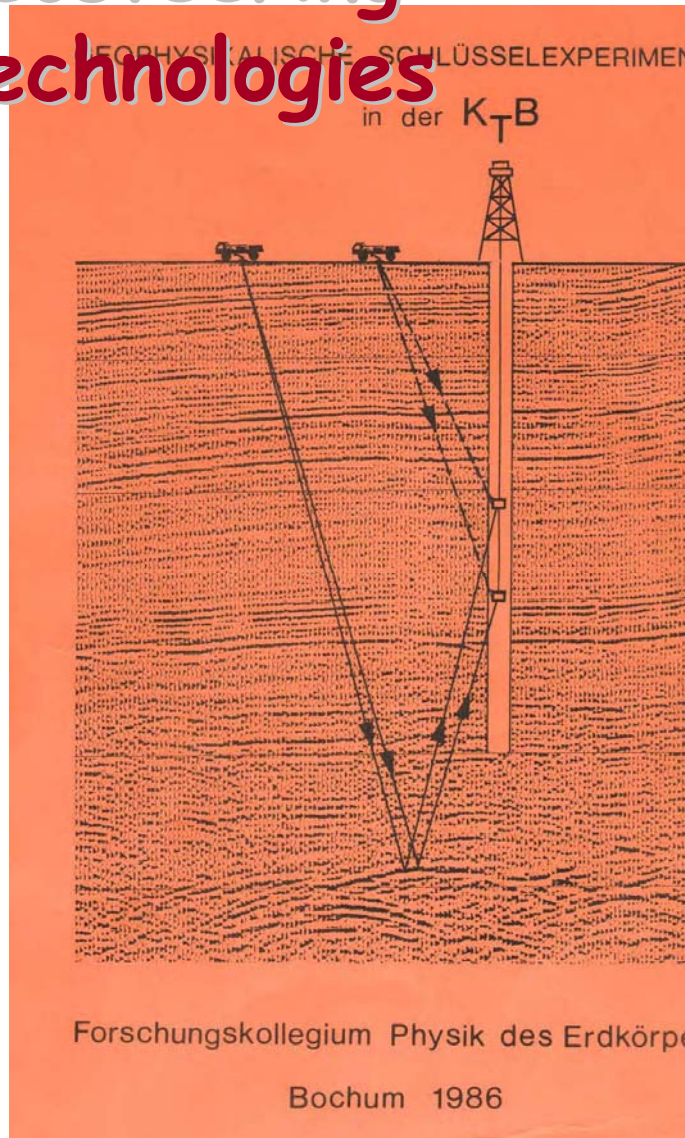


Gravity reading

$$\Delta g = -4 \pi G \rho \Delta z$$

$$\rho = \frac{1}{4 \pi G} \frac{\Delta g}{\Delta z}$$

Advanced Geosteering Technologies



VI. Transienten-Elektromagnetik (TEM)

Erkundung der Leitfähigkeit mit wandernden Stromsystemen

1. Zielsetzung

Die elektrische Leitfähigkeit der Gesteine in der oberen Kruste wird im allgemeinen von ihrem Porenvolumen und vom Ionengehalt der Porenflüssigkeit bestimmt, z. B. von ihrer Salinität. Änderungen der Klüftigkeit oder des Ionengehaltes sind also von entsprechenden Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit begleitet. Umgekehrt kann dann aus der Kenntnis der elektrischen Leitfähigkeit auf die Verteilung und Zusammensetzung der Gesteinsfluide geschlossen werden.

Sehr hohe Leitfähigkeiten einzelner Bereiche können durch elektronische Leitfähigkeit erklärt werden, wie sie durch Graphit- oder Erzanreicherungen verursacht werden. In der Kolabohrung entdeckte man in ca. 2000 m Tiefe mächtige Erzhorizonte, weitere erzhaltige Horizonte traten in größerer Tiefe auf.

Hier soll der Vorschlag gemacht werden, zur Erfassung der Leitfähigkeit im Bohrloch das TEM-Verfahren einzusetzen. Diese Methode weist unter anderem folgende Eigenschaften auf, die sie dafür geeignet machen:

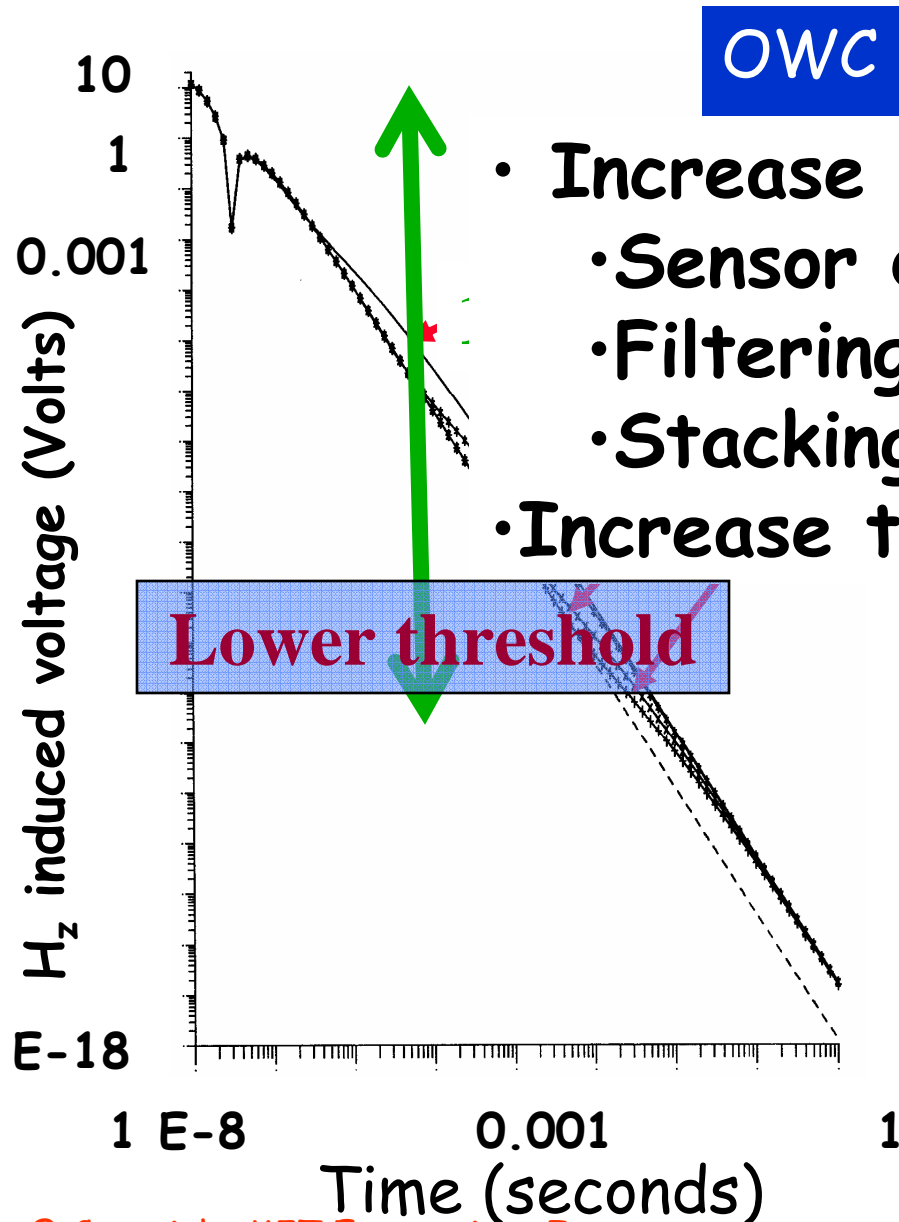
- Es wird das Abklingen eines induzierten Stromsystems gemessen. Das Stromsystem breitet sich während des Abklingvorgangs lateral und nach unten aus. Dies führt zu einer stärkeren Gewichtung der Leitfähigkeit tieferer Schichten zu späten Zeiten des Abklingvorgangs.

Example:

Single Well EM/Seismic (SWEMS)

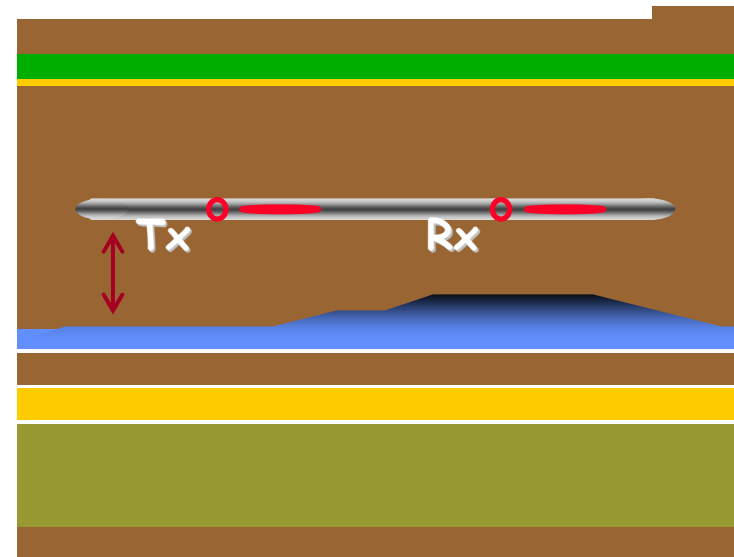
- Fluid characterization in commercial quantities up to 200 m away from wellbore
 - ✘ Start with 10-50 m, extend later
- Commercial solution
 - ✘ Easy to use and deploy
 - ✘ Global accessibility
- Status:
 - ✘ Pre-feasibility finished (funded by: DeepLook: bp, Chevron, Conoco, Shell, Texaco)
 - ✘ Feasibility finished (Eni-Agip & Shell funded)
 - ✘ Prototype build phase starting

Noise results in extended dynamic range

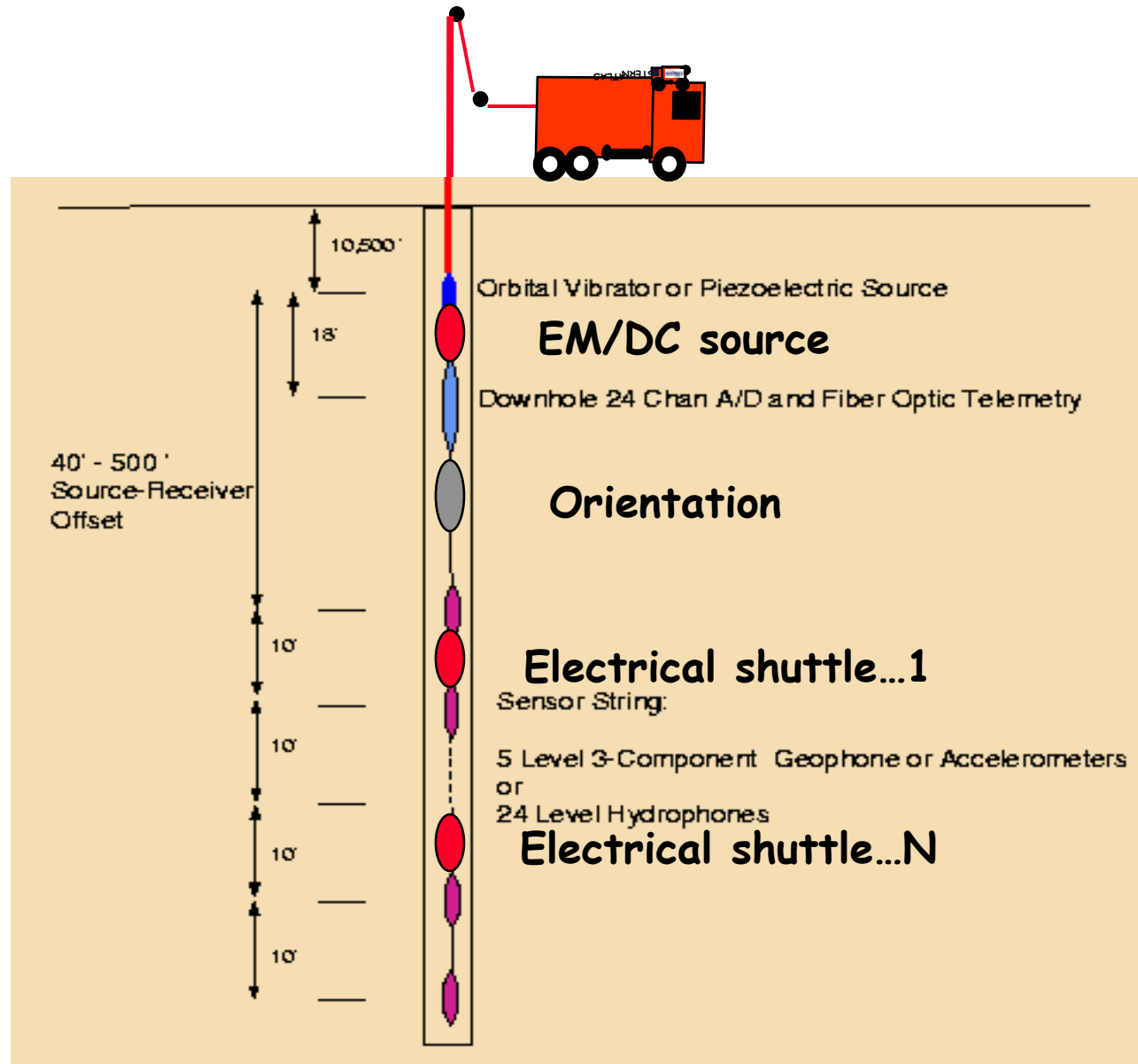


- Increase receiver moment:
 - Sensor design
 - Filtering
 - Stacking etc
- Increase transmitter moment

na
ell



Integrated single well system



Summary

- Prof. Neubauer's contribution went further than meets the eye.
- In Logging he spawn many new ideas that are:
 - ☒ Some are fully commercial
 - ☒ Some R&D is still ongoing
- Many students found jobs in logging industry
- Other favorites of him are..

Beer and..



...woman





© Copyright KJT Enterprises Inc.

KMS Technologies – KJT Enterprises Inc.
6420 Richmond Ave., Suite 610
Houston, Texas, 77057, USA
Tel: 713.532.8144

info@kmstechnologies.com

Please visit us
<http://www.kmstechnologies.com//>