UPPSALA UNIVERSITET

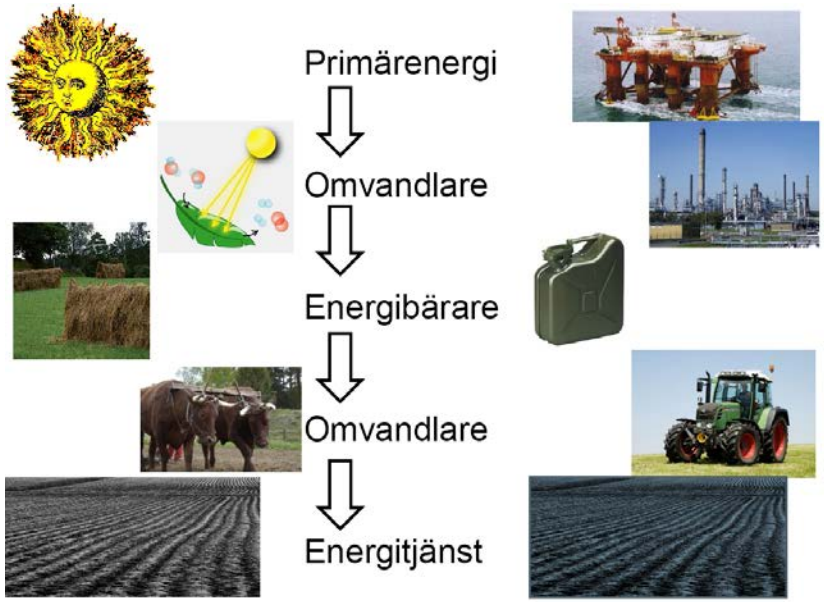
Hydraulisk spräckning

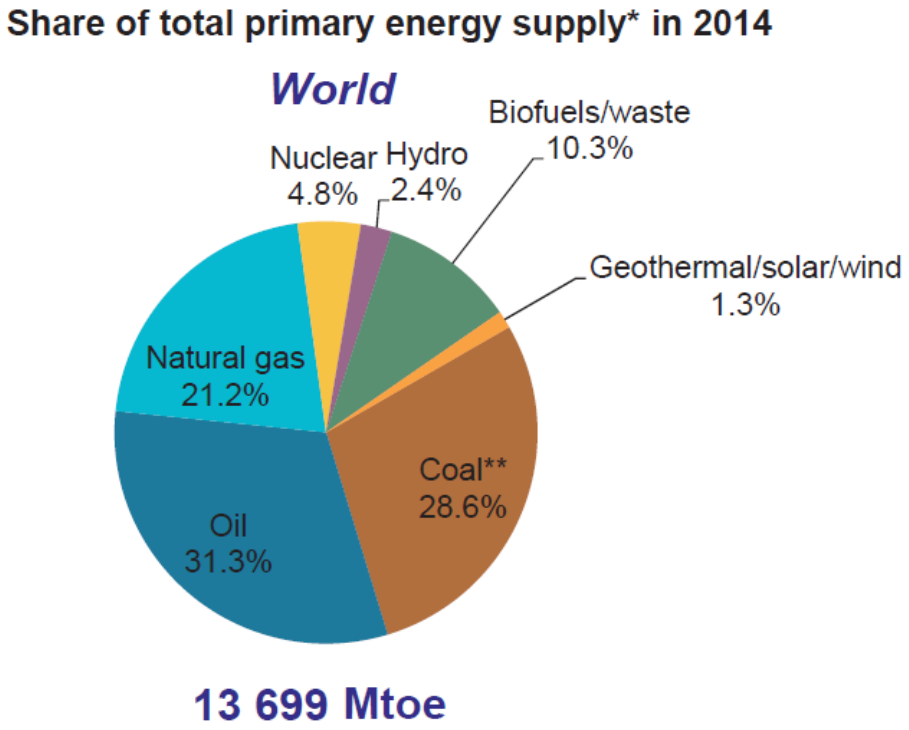
Klubbmöte Västerbergslagen Ingeniörsklubb
Stora Salen, ABB Infocenter, Ludvika, 2017-08-21



Docent Mikael Höök, universitetslektor
Globala Energisystem, Uppsala Universitet

Energisystemets delar



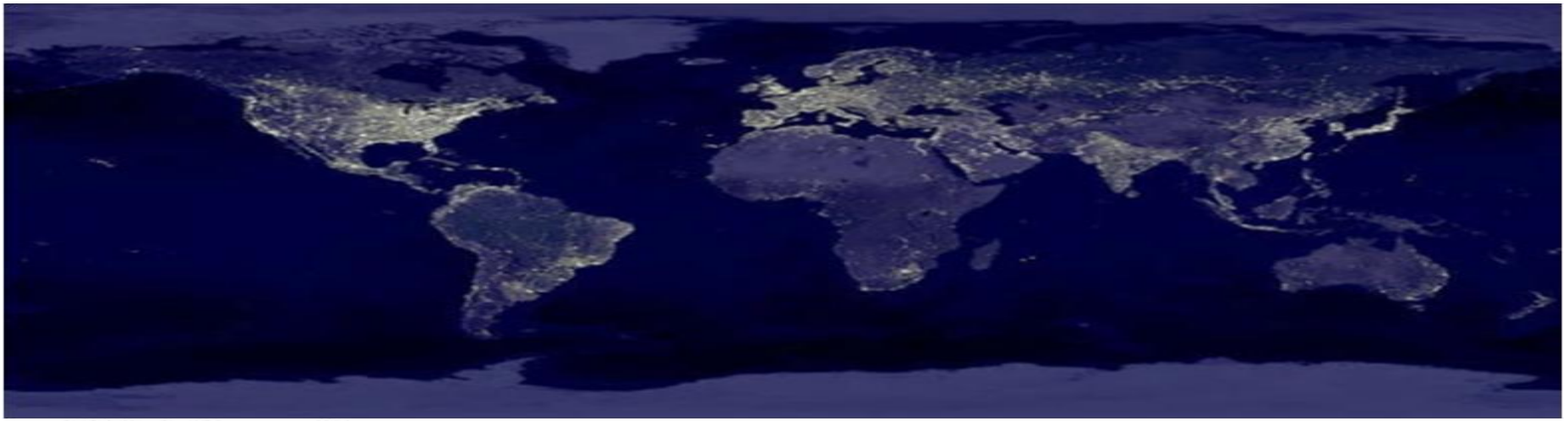


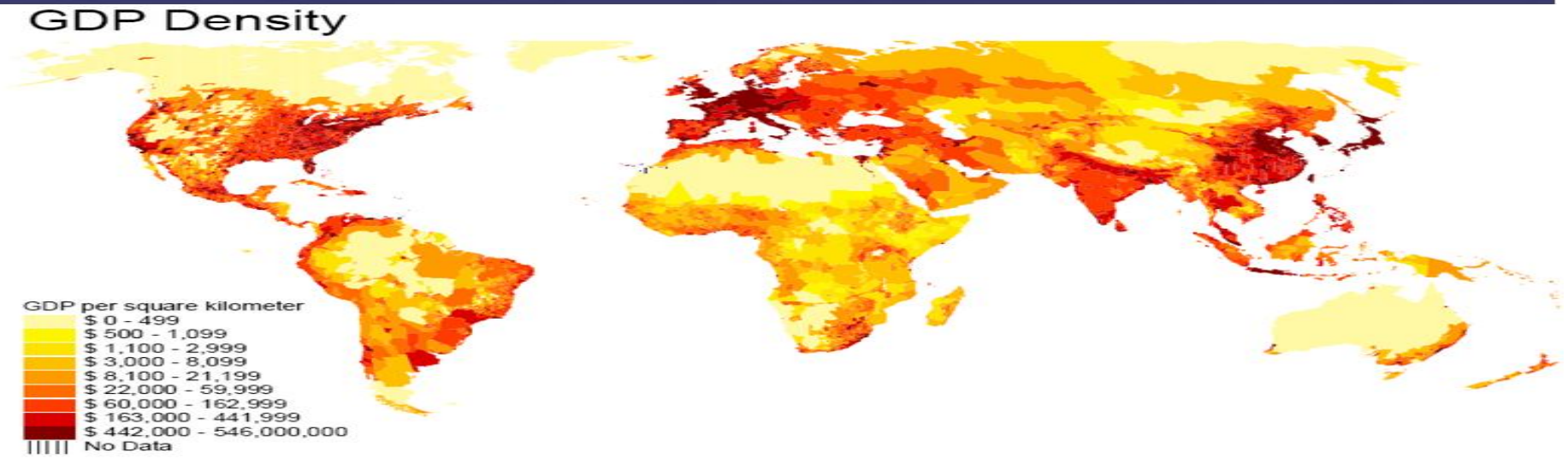
1 Miljon Ton oljeekvivalenter (Mtoe) = 11.6 TWh
>80% är fossilt (11 1104 Mtoe)
~90% är icke-förnybart (kärnkraft+avfall, etc.)
Elektricitet utgör <15% av global primärenergi

Källa: IEA (2017) Statistics

UPPSALA UNIVERSITET

Energi driver vår värld

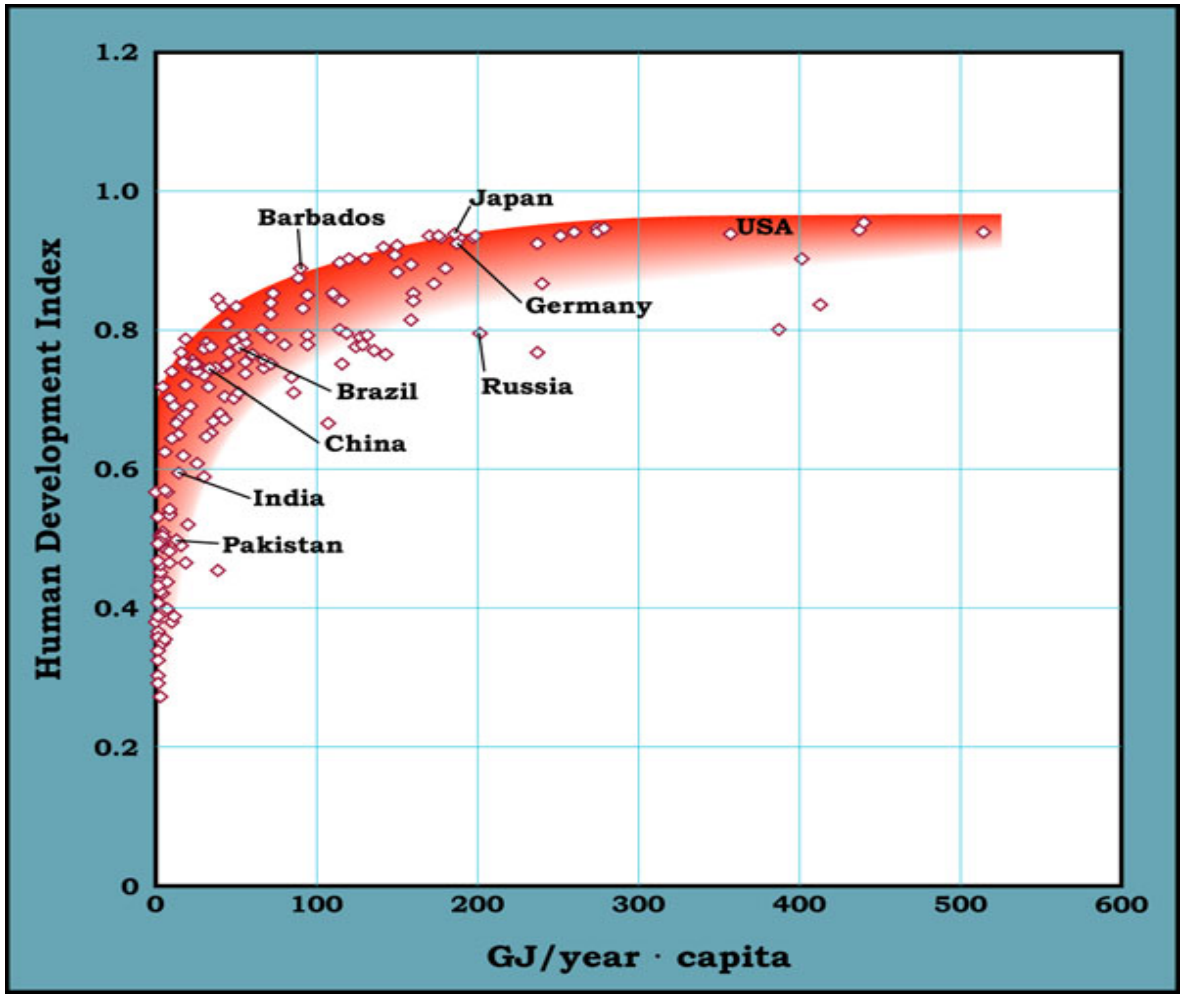




Källa: NASA & Världsbanken

UPPSALA UNIVERSITET

Energi och välstånd



Human Development Index

Kompositindex som inkluderar

- Förväntat livslängd
- Hälsonivå
- Antal skolår
- Utbildningsnivå
- Inkomst per capita
- Levnadsstandard
- Etc.

Ökat välstånd kräver energi

Energi är essentiellt för samhället och för framtida utveckling av välfärdssamhället

Källa: Smil (2008) *Energy at the cross roads: Global Perspectives and Uncertainties*. MIT Press.

UPPSALA UNIVERSITET

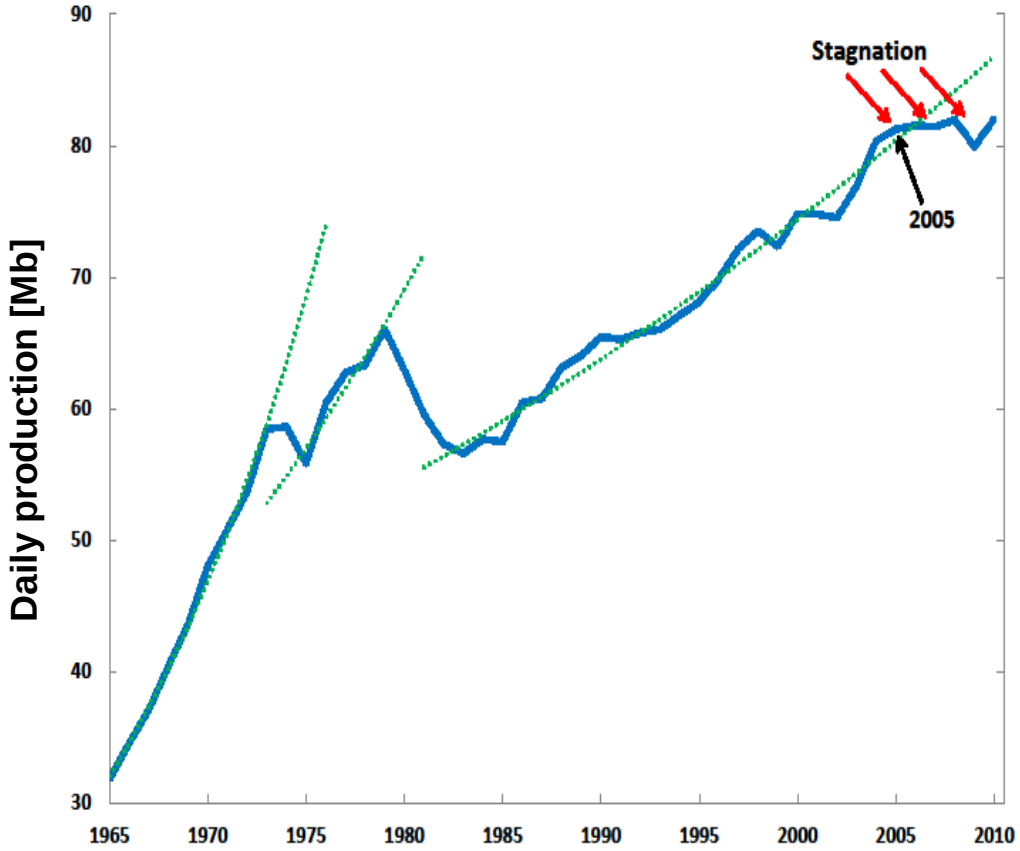
Valda energisystem

- Verkliga energisystem påverkas av flera faktorer

- **Fysisk tillgänglighet**
  - Vissa energiformer finns inte på vissa platser
- **Teknisk tillgänglighet**
  - Måste vara tekniskt genomförbara
- **Ekonomisk attraktivitet**
  - Vissa energislag kostar för mycket jämfört med alternativen för att vara intressant
- **Social acceptans**
  - Måste vara politiskt, miljömässigt och socialt gångbara

UPPSALA UNIVERSITET

Stagnationen i oljeproduktionen



Viktiga trender

- Stillastående produktion och ökande priser på olja, energi och varor
- Geopolitisk spänning kring petroleum-rika områden
- Ökat intresse för okonventionell fossil energi
- Exempelvis via frackingboomen i USA

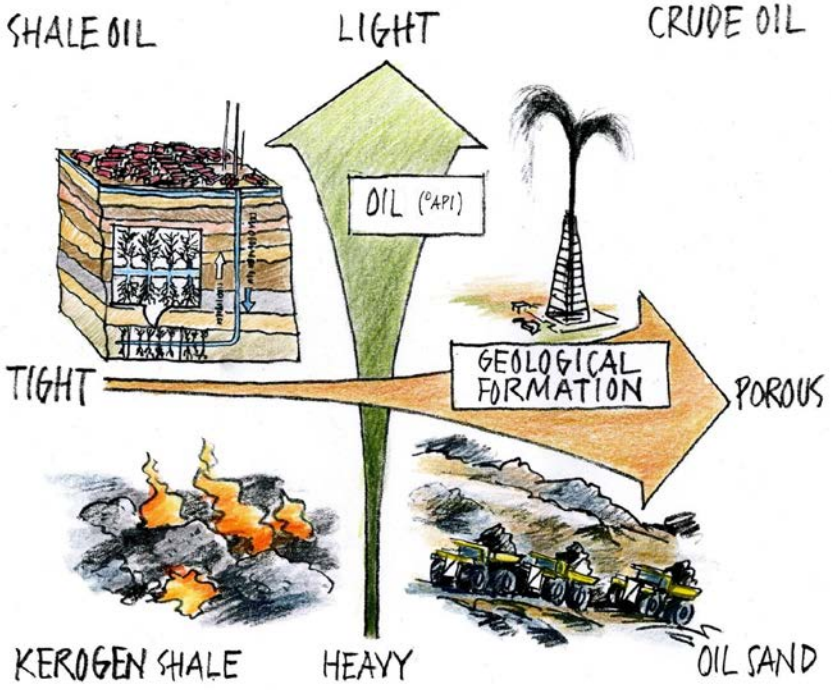
Källa: Kumhof & Muir (2012) Oil and the World Economy: Some Possible Futures. *IMF Working Paper WP/12/256*

UPPSALA UNIVERSITET

Typer av olja

Tidigare har nästan all olja varit lätt och från porösa formationer

Sinande tillgångar driver producenter mot mer okonventionella formationer som kan vara huvudsakligen **tunga** eller **tighta**



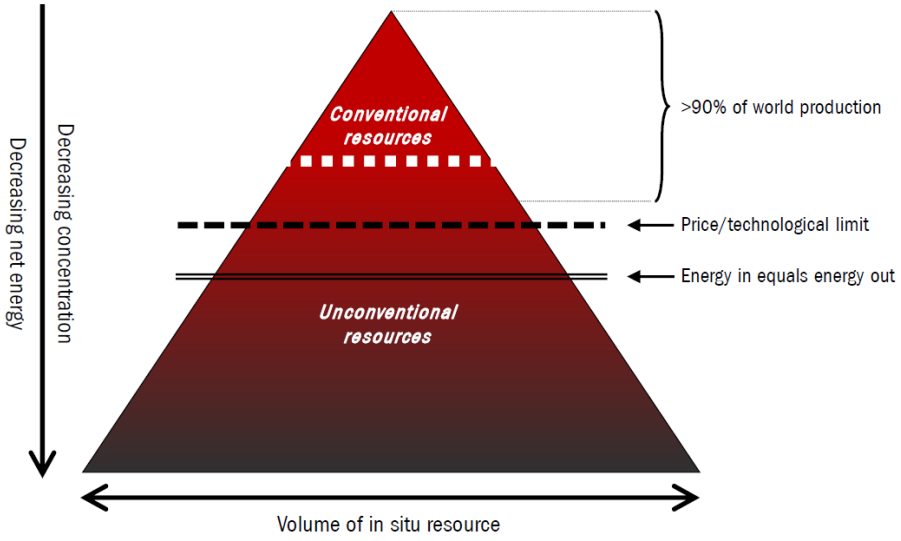
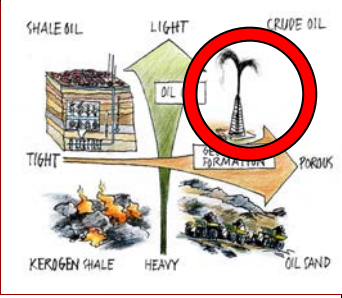


Figure 37. The pyramid of oil and gas resource volume versus resource quality.
This graphic illustrates the relationship of in situ resource volumes to the distribution of conventional and unconventional accumulations and the generally declining net energy and increasing difficulty of extraction as volumes increase lower in the pyramid.

UPPSALA UNIVERSITET

Den obekväma sanningen



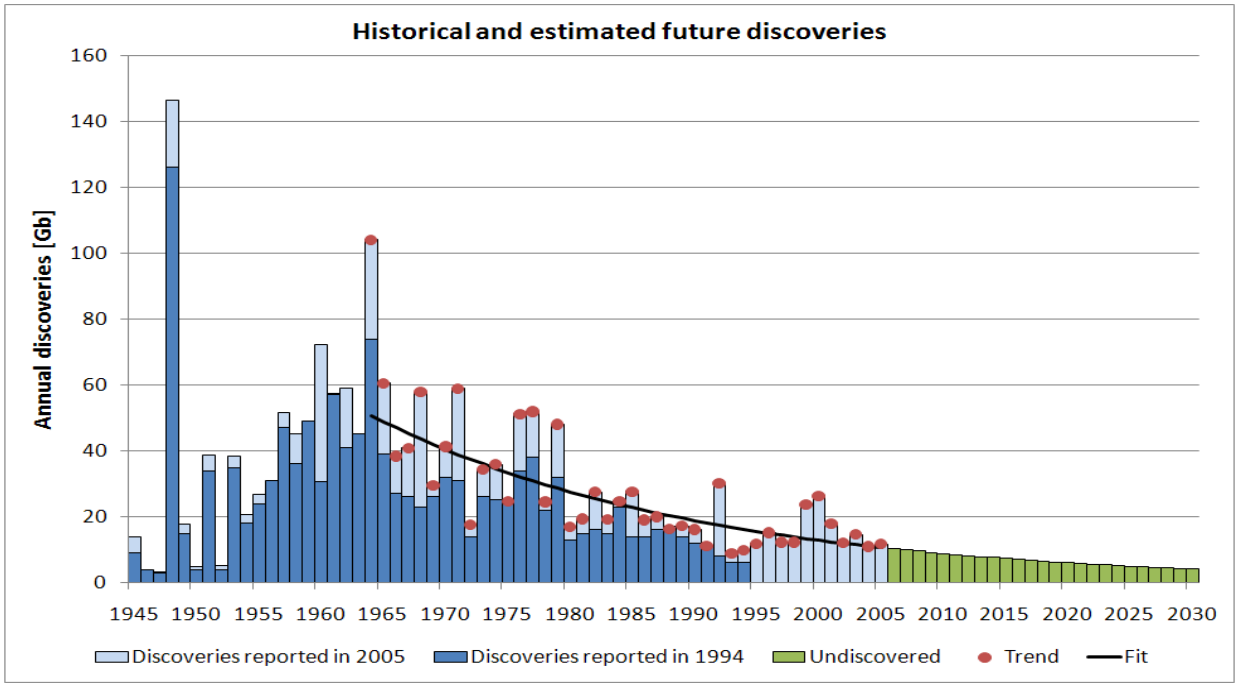
- Avtagande fynd
- I dagsläget är oljefynden de lägsta på 70 år
- Alla kontinenter utom Antarktis är till stor del genomsökta

Bloomberg

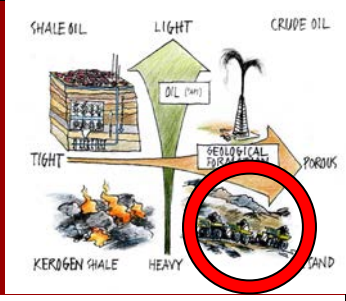
Oil Discoveries at 70-Year Low Signal Supply Shortfall Ahead

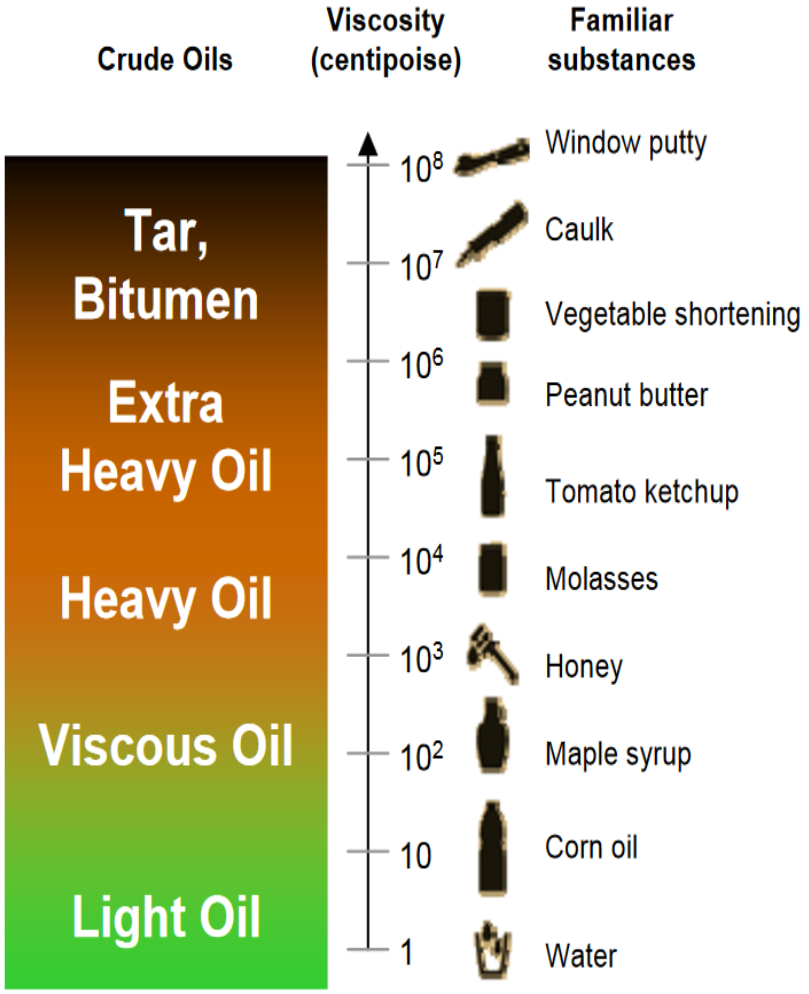
by **Mikael Holter**
den 30 augusti 2016 01:00 *Updated on* den 30 augusti 2016 15:17

- New finds at lowest since 1947 and headed even lower: WoodMac
- Explorers replacing just 6% of resources they drill: Rystad



Viskositet & densitet



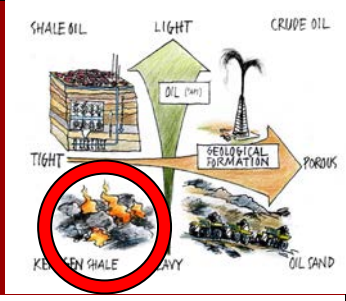


- Kanada och Venezuela innehåller rika förekomster av okonventionell olja, dock av den tyngre varianten
- Extra-tung olja definieras som olja med densitet <10° AP and viskositet <10,000 cP (Chew, 2014).
- Naturligt bitumen, också känt som asfalt, är petroleumet i tjärsand/oljesand
- Bitumen är en kletig form av biodegraderad råolja som i praktiken är ett fast material vid temperaturer under 10° C, har densitetet <10° API och viskositet >10,000 cP (Chew, 2014).

Källa: Chew, 2014. The future of oil: unconventional fossil fuels. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372(2006)

UPPSALA UNIVERSITET

Kerogenskiffer



- Består av omogen moderbergart (förstenat bottenslam) med högt innehåll av **kerogen** som kan ombildas till olja vid passande behandling alternativt eldas direkt som fast bränsle (görs i Estland)

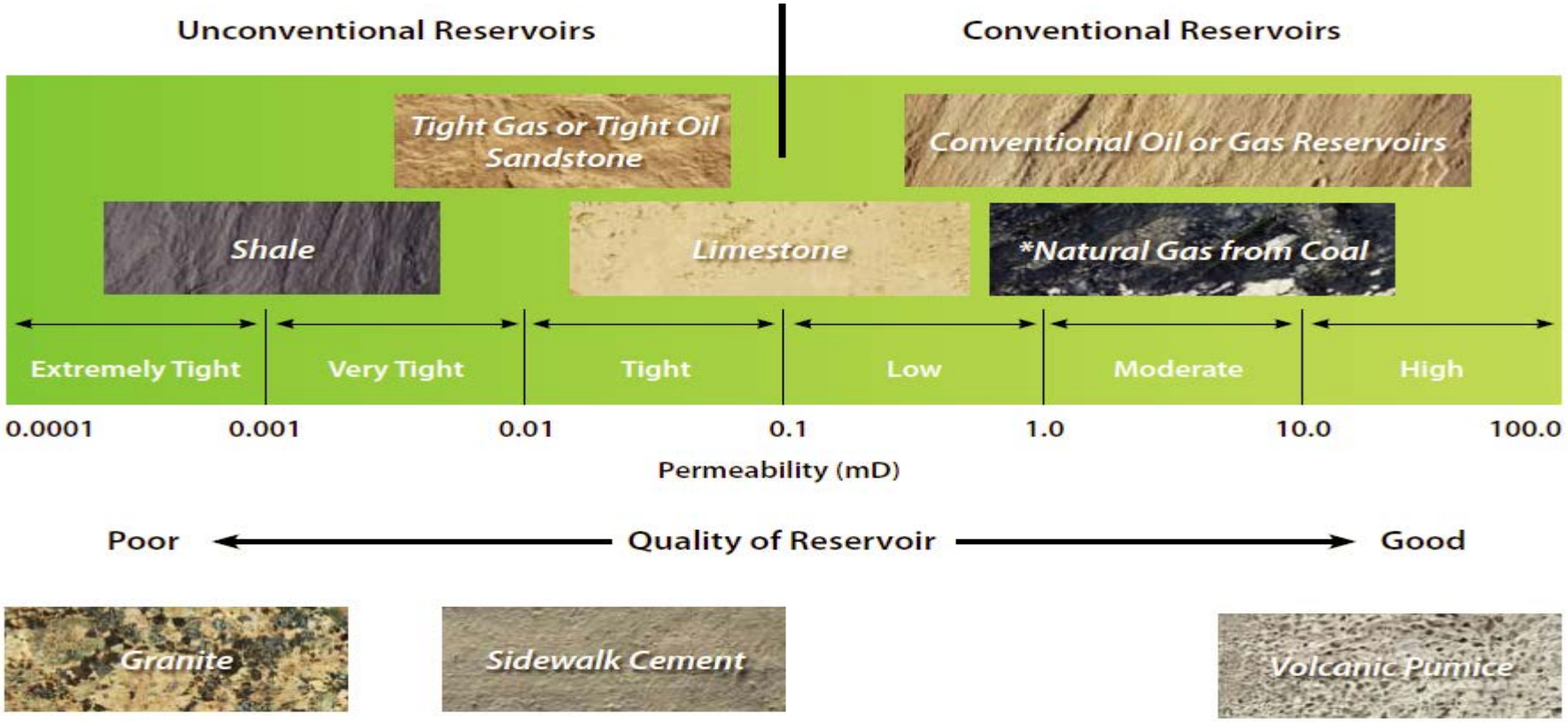
- Stora förekomster världen över, med mest i USA, motsvarandes 2800-3300 miljarder fat olja
  - Dock obefintlig kommersiell betydelse för produktion av flytande bränslen

- Kallas även ”*oljeskiffer*” och ska ej hopblandas med skifferolja

UPPSALA UNIVERSITET

Permeabilitet

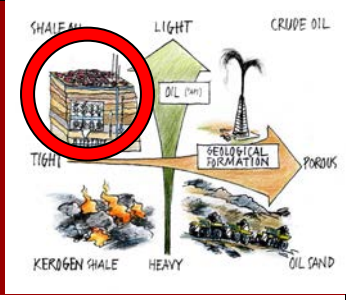
- Reservoarer med låg naturlig permeabilitet som gör det svårt för fluider att röra sig



* Natural Gas from Coal reservoirs are classified as unconventional due to type of gas storage

UPPSALA UNIVERSITET

“Light tight oil”



- Produktionstekniken är snarlik för all exploatering från formationer med låg permeabilitet
- Lätt olja utvunnen från formationer med låg naturlig permeabilitet kallas för “*light tight oil*”
  - Inkluderar exempelvis tight sandsten “tight sand”
  - Även granit, kol och andra bergarter kan vara tighta
- Skifferbergarter har dock blivit den stora källan till ökad produktion (i.e. shale oil / skifferolja)

UPPSALA UNIVERSITET

”Tighta” skiffrar

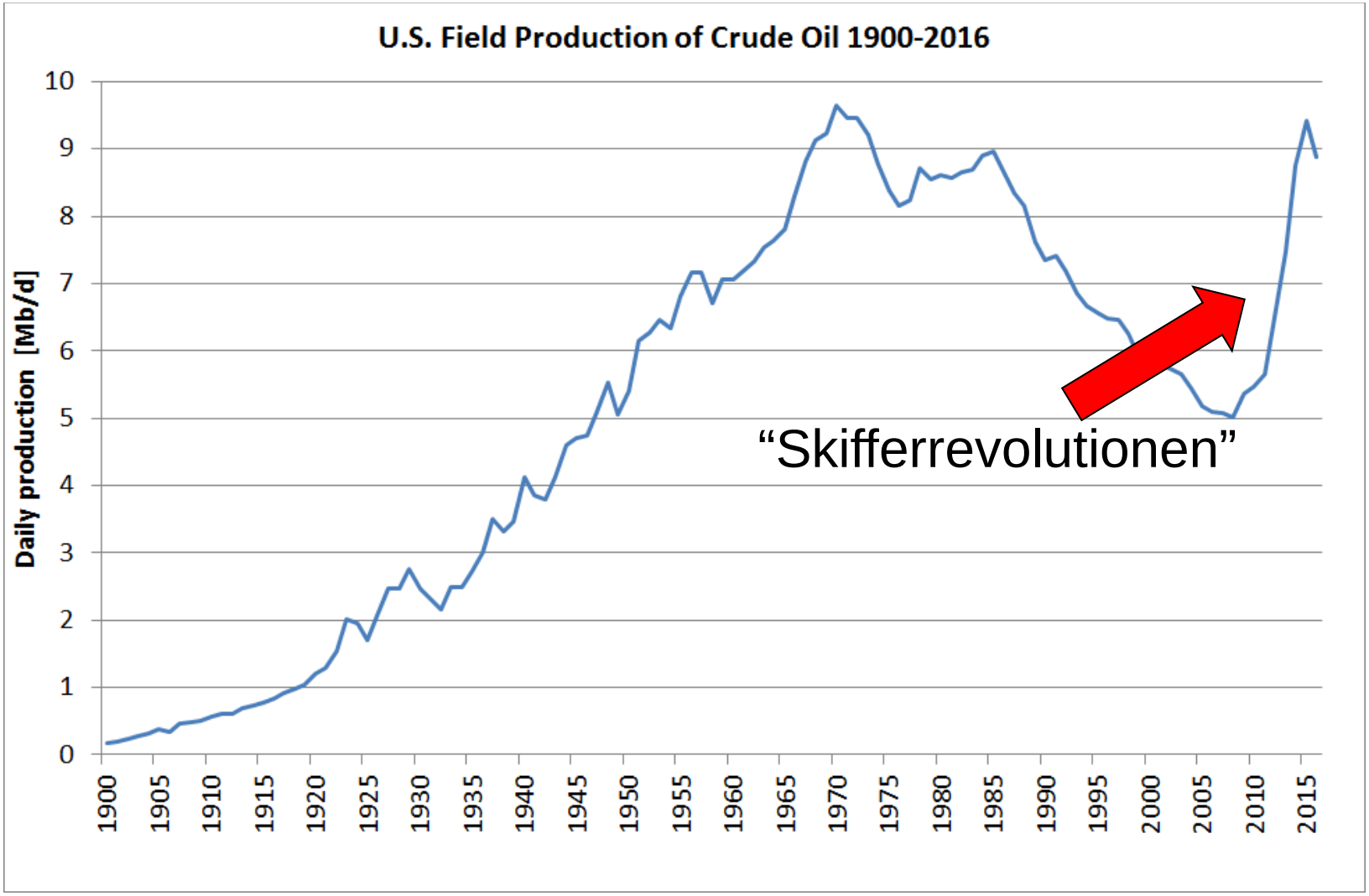
- Skiffrar som har närvaro av organiskt material kan skapa kolväten givet rätt geologi
- Stora tryck och temperaturer krävs för bildning och kolvätena blir hårt bundna
- Kommersiellt intressanta flöden är svåra att få fram naturligt på grund av låg permeabilitet
- Genom att introducera artificiella sprickor kan bergets ledningsförmåga för fluidflöden öka





UPPSALA UNIVERSITET

Uppsving för USA:s olja



Källa: Energy Information Administration (2017)

UPPSALA UNIVERSITET

I svensk media

Skiffergas får elektronikjätte att lämna solcellstekniken

Av Miljöaktuellt, redaktionen

Tyska Bosch lämnar solcellsbranschen. Delvis på grund av den ökande användningen av skiffergas.

Skifferoljan slår ut Kanadas oljesand

Den ökade produktionen av skifferolja i USA konkurrerar nu ut oljesand i Kanada.

USA-gas ritar om energikartan

Publicerad 2013-02-23 05:50

Skiffergas kan vara världens nya energikälla

Publicerad: tis, 2013-04-02 09:03 KOMMENTARER 6

▸Reportage - Energi

Skiffergas sänker Ryssland

USA har passerat Ryssland som världens största naturgasproducent och Kina kan bli ännu större. Ny teknik som gjort skiffergas lönsam kommer att slå hårt mot Gazprom och därmed även mot rysk export. Inte konstigt att Rysslandsfonderna backat.

UPPSALA UNIVERSITET

Case study: Fracking i USA

- Exploateringen av skiffergas/olja har på kort tid förändrat det amerikanska energilandskapet
- Snabb utveckling utan fullständig kunskap om miljöpåverkan har kännetecknat processen som även understötts av generösa undantag
- Vatten- och miljökunskap börjar nu komma ikapp och spelar en viktig roll i att balansera bilden och motverka osäkra energisatsningar

UPPSALA UNIVERSITET

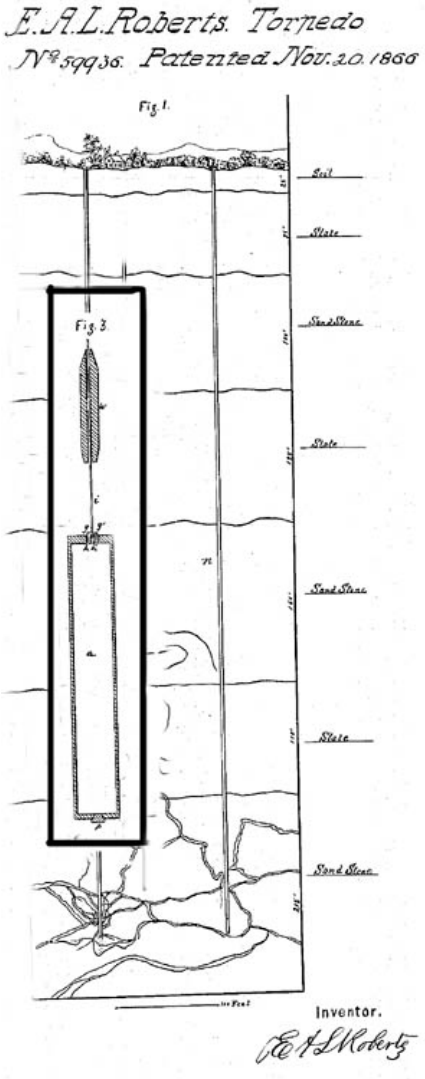
Frackingens historia



UPPSALA UNIVERSITET

En explosiv torped

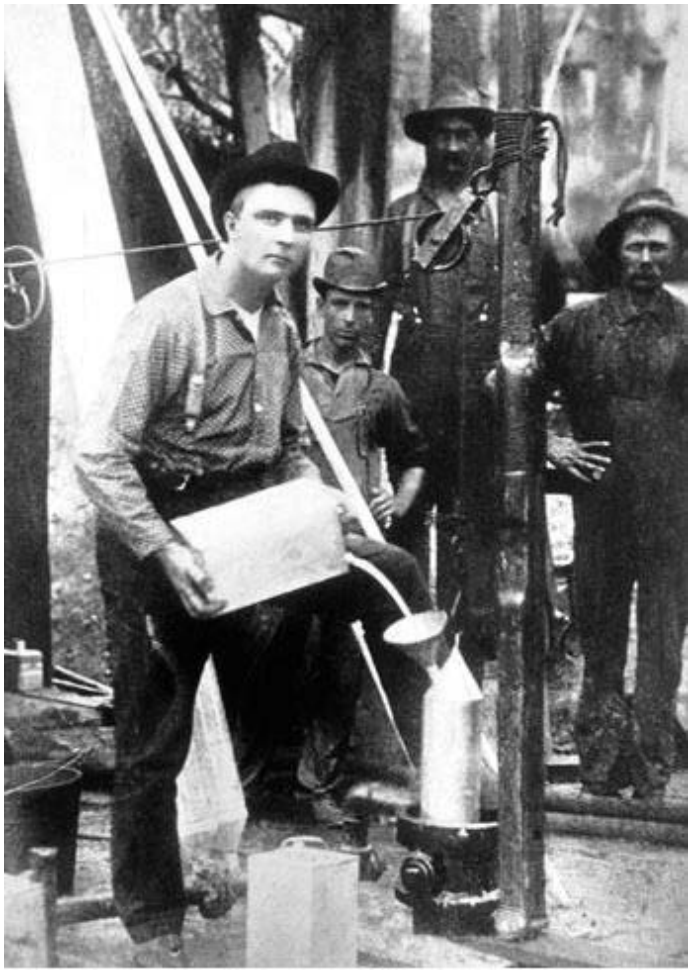
- Fracking kan spåras till krigsveteranen Edward Roberts patent från år 1865 för en ”*explosiv torped*” för förbättring av oljekällor vars flöden börjat avta
- Via en explosion skulle sprickor och frakturer tillföras som ökade oljeflödet
- I början användes krut, men senare gick man över till nitroglycerin



UPPSALA UNIVERSITET

Att skapa frakturer i stenen

- Gjordes först med sprängämnen
- Så kallad ”*explosiv fracking*”
- Flertalet olyckor, främst kopplade till hanteringen av nitroglycerin, gjorde att tekniken i praktiken förbjöds
- Illegala sprängare, så kallade ”*moonshiners*” utförde fortfarande fracking om nätterna långt in på 1900-talet



Nitroglycerin för fracking

UPPSALA UNIVERSITET

Vad gör explosionen?

- Detonationen skapar nya sprickor och skakar om strukturen så att vätskor rör sig lättare

- Flödet ökar tillfälligt efter skakning men avtar när sprickorna tids nog sluts till följd av ovanliggande bergmassors tryck

- Skaka om en ketchupflaska!

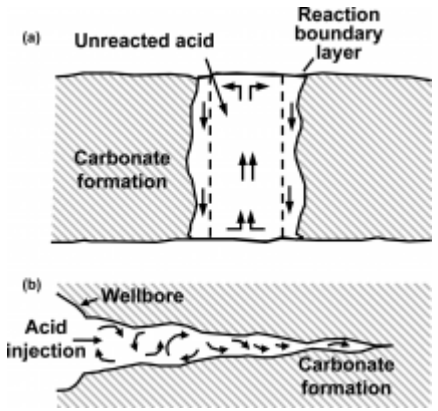


Nya insikter

- På 1930-talet började man experimentera med nya icke-explosiva frackingmetoder

- Några av dessa byggde på att injicera syror, främst saltsyra, som fräter på sprickornas kanter och hindrar dem från att sluta sig fullständigt

- Metoden användes begränsat i grunda reservoarer med passande bergarter



Källa: Society of Petroleum Engineers (2014) Acid fracturing. SPE Petrowiki.

UPPSALA UNIVERSITET

Hydraulisk fracking

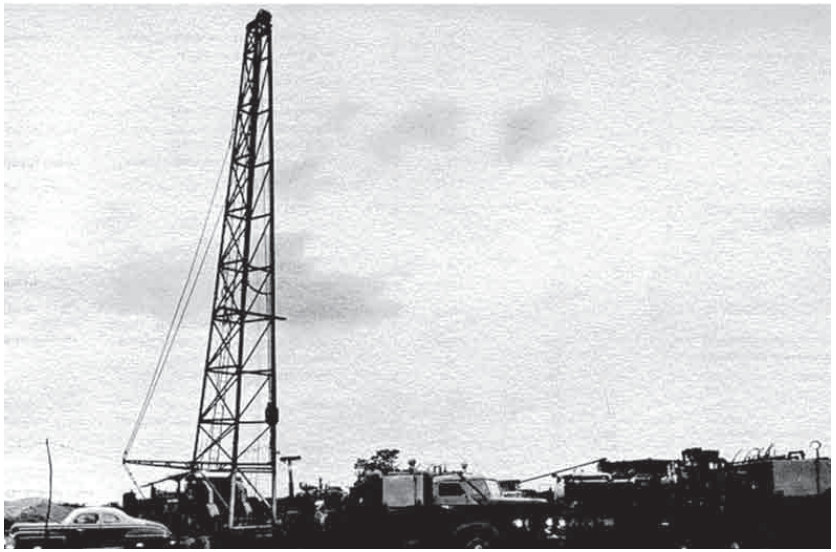
- På 1940-talet utvecklades nya icke-explosiva varianter som använde vatten under högt tryck
- Så kallad ”*hydraulisk fracking*” eller ”*hydrofracking*”
- Genom att undvika sprängämnen kunde tekniken göras påtagligt mycket säkrare
- Den 17 mars år 1949 används den för första gången under kommersiella former i USA
- Förblev dock tämligen betydelselös under lång tid

UPPSALA UNIVERSITET

Stanolinds fälttest

- Det första fälttestet injicerade 3800 liter gelatinerad bensin (dvs. napalm) i en gasbärande formation på 750 meters djup

- Testet blev inte någon nämnvärd succé, men ledde till patent och exklusiv licens för service-bolaget Halliburton



Gasfältet Hugoton i Grant County, Kansas där Stanolind Oil premiärtestade hydraulisk fracking

UPPSALA UNIVERSITET

Frackingens framfart

- Fracking användes flitigt i sandstenar och konventionella oljefält under 1970-talet och framåt
- Mer än 1 miljon oljefält har stimulerats med fracking, men även vanliga vattenbrunnar
- Men de flesta borrhålen var vertikala, och ofta var injektionen rätt småskalig med sprickor som nådde några meter från borrhålen
- Massiva frackinginsatser, där >150 ton injicerad vätska användss, förekom dock sällan

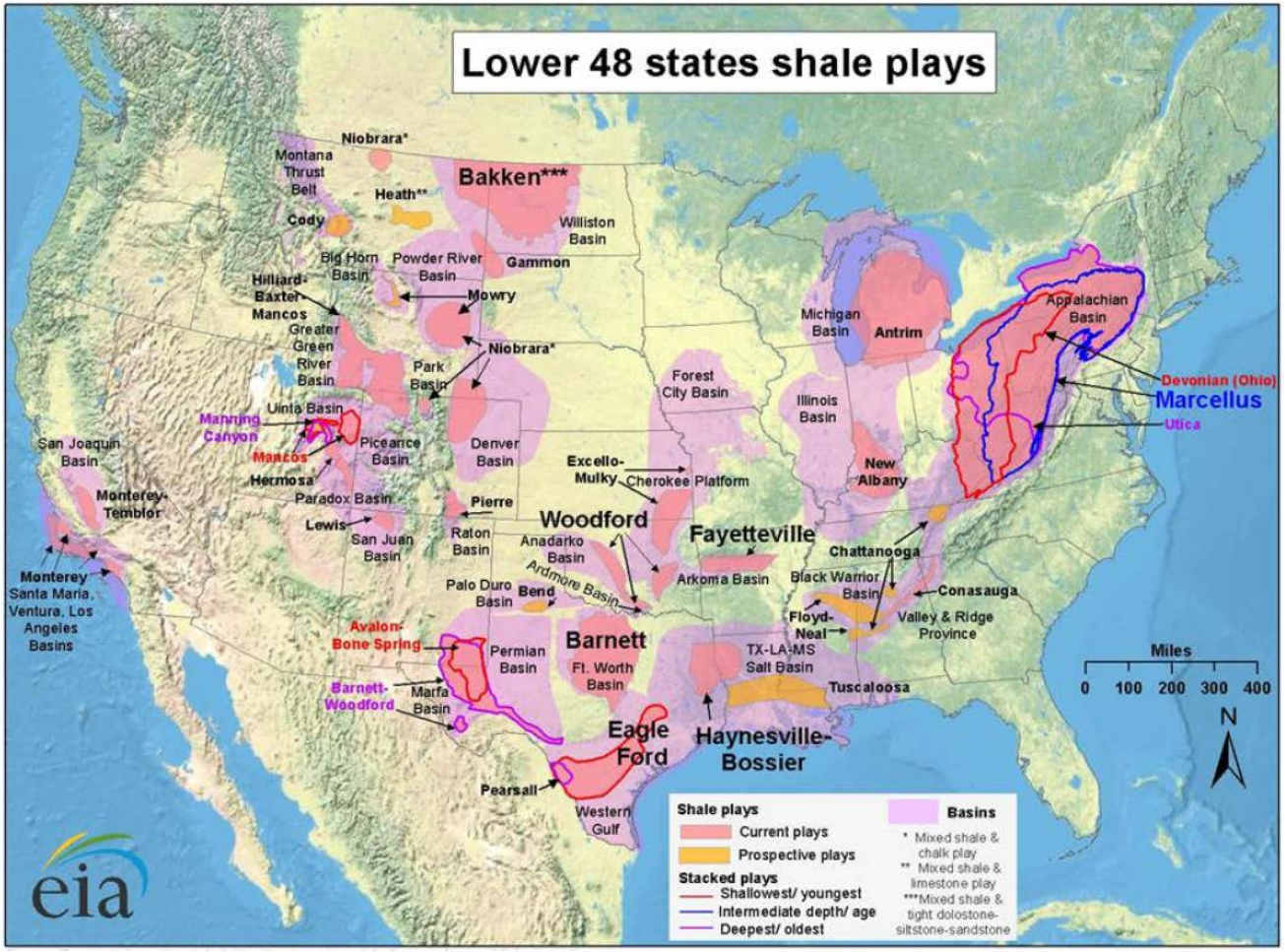
UPPSALA UNIVERSITET

Kemikalieunderstödd fracking

- På 1990-talet tilläts ”*slickwater fracturing*”, dvs kemikalieunderstöd bergsspräckning
- Tillsatta kemikalier kan förbättra förmågan att skapa frakturer i berget radikalt
- Detta i kombination med ny styrbar och horisontell borrning gjorde att fracking blev mycket attraktivare i tighta formationer
- En boom för skifferfracking följde under 2000-talet!

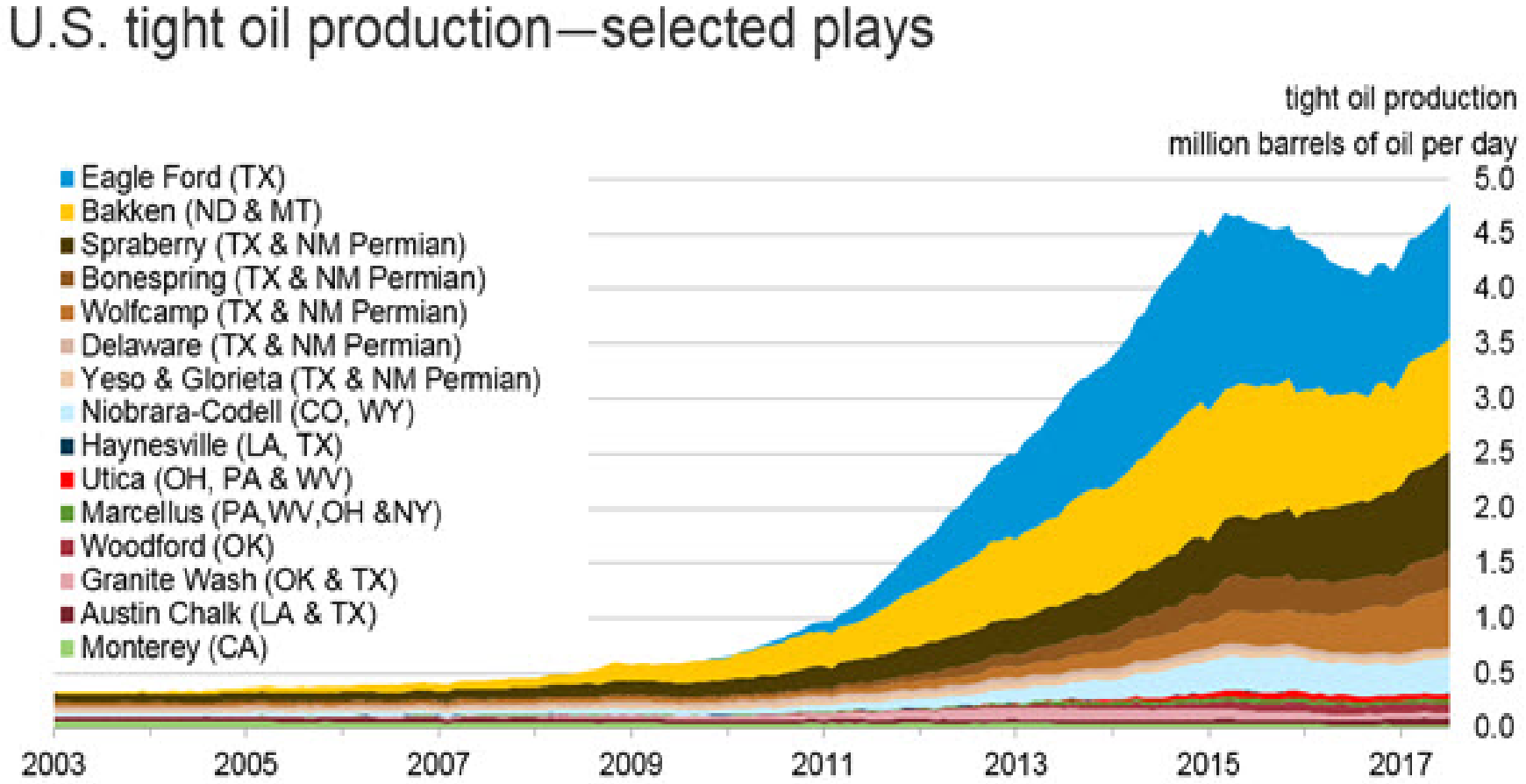
UPPSALA UNIVERSITET

Amerikanska skifferområden



UPPSALA UNIVERSITET

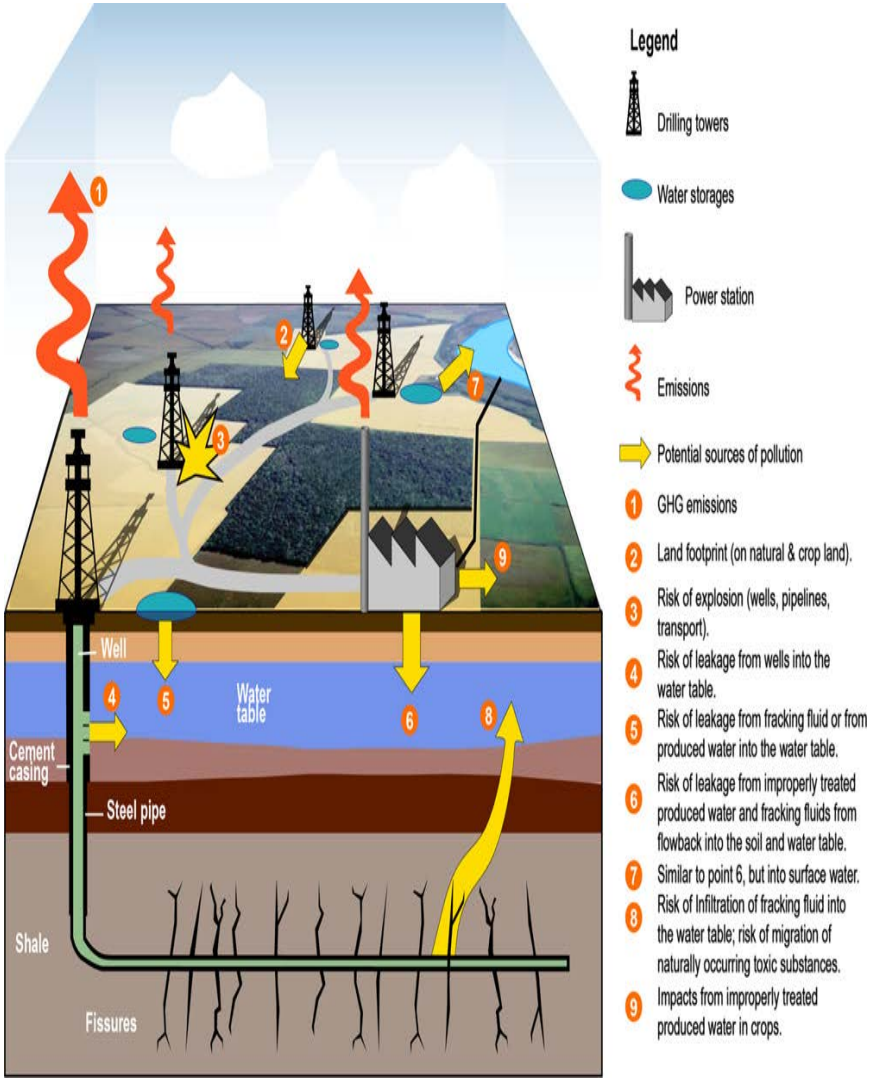
”Skifferrevolutionen”



Källa: EIA (2017)

UPPSALA UNIVERSITET

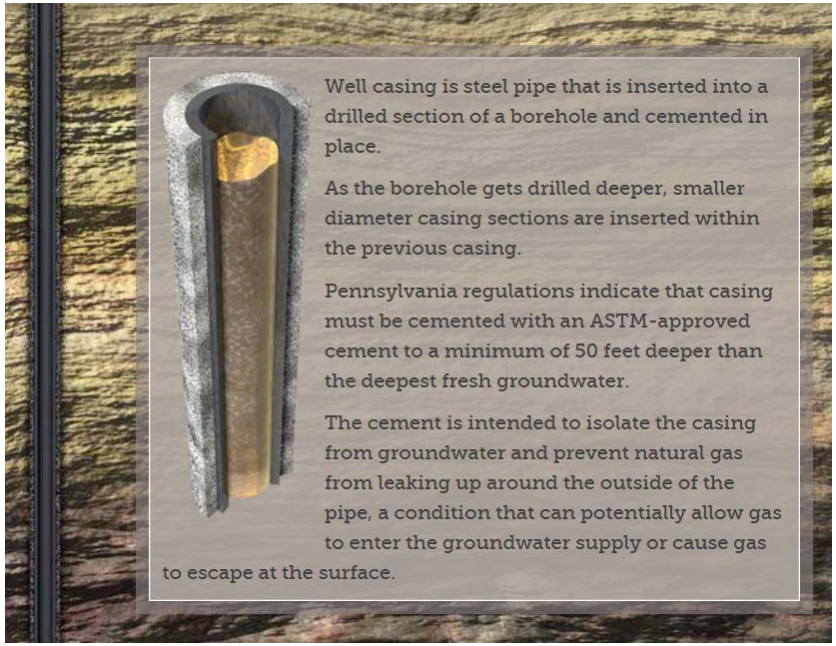
Modern fracking



- Typiska gas/oljebärande skiffrar ligger på 3 km djup med 20-150 m tjocklek
- Horisontella borrhål görs utgående från en pad
  - Omkring 500 m isär och flera km långa för att följa skifferformationen



Steg 0 – borrning av hål

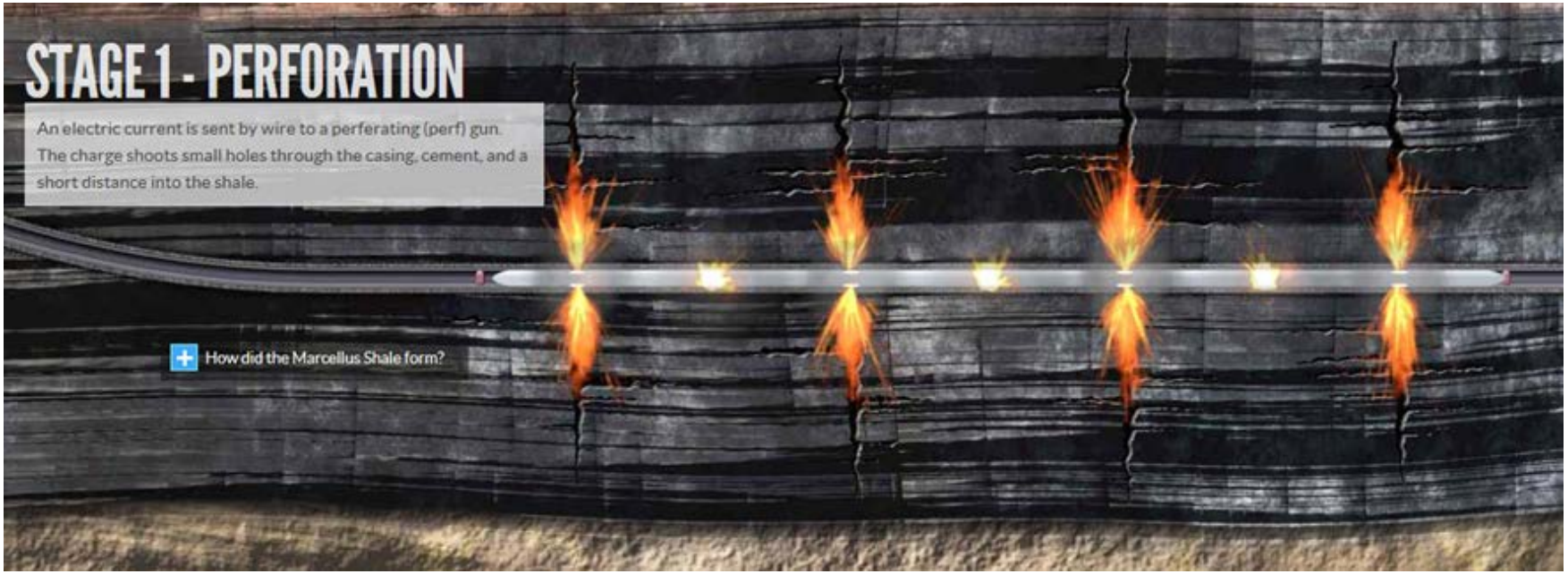




- Från en borrigg på ytan borras ett hål till rätt djup
- Hålet består av ett stålrör omgivet av skyddande cement
- Så här långt är allt identiskt med vanlig olje/gasborrning

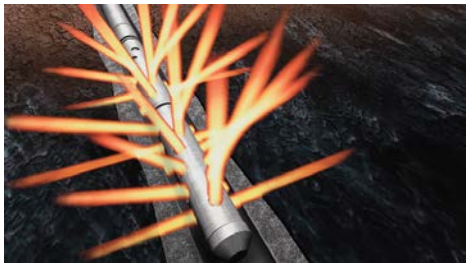
UPPSALA UNIVERSITET

Steg 1 - Perforering



- Riktade sprängladdningar gör små öppningar mot borrhålets sidor som går en bit in i det omkringliggande berget

- Detta öppnar flera nya fronter

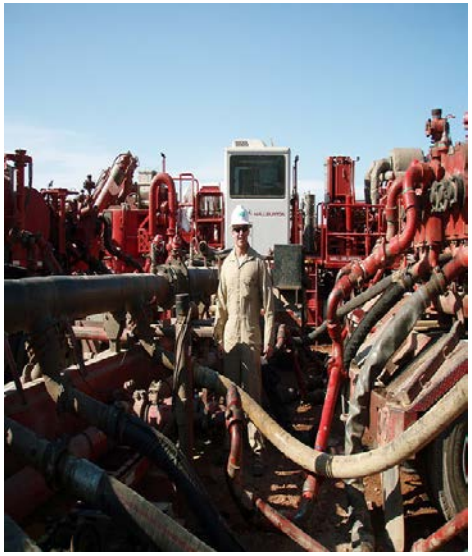




UPPSALA UNIVERSITET

Frackingvätska

- Vatten, sand och tillsatsa kemikalier blandas till en vätska som trycksätts och pumpas ned i marken
- Typisk frackingvätska består av 90% vatten, 9% sand, <1% tillsatser
- Tillsatserna kan vara syror, etylenglykol, salter, antirostmedel, förtjockningsmedel och mycket annat beroende på lokal geologi

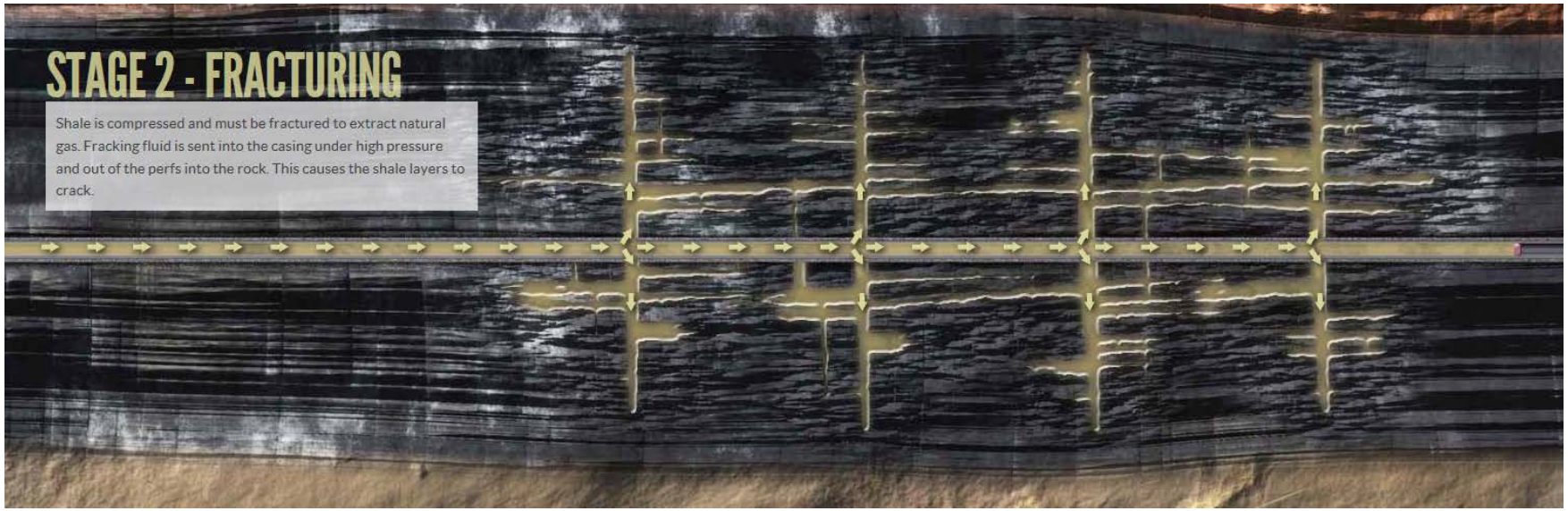




Källa: *American Petroleum Institute (2010) Freeing Up Energy. Hydraulic Fracturing: Unlocking America's Natural Gas Resources*

UPPSALA UNIVERSITET

Steg 2 - Spräckning

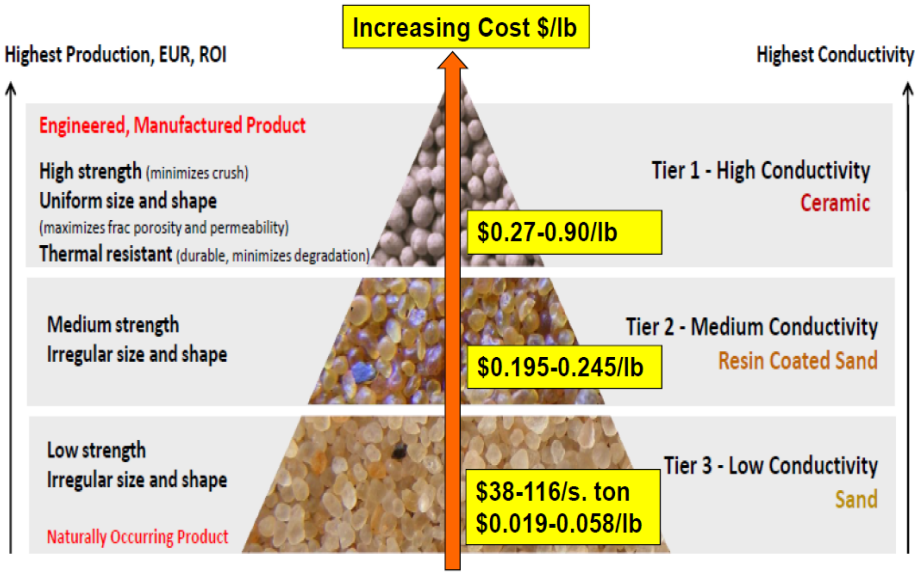


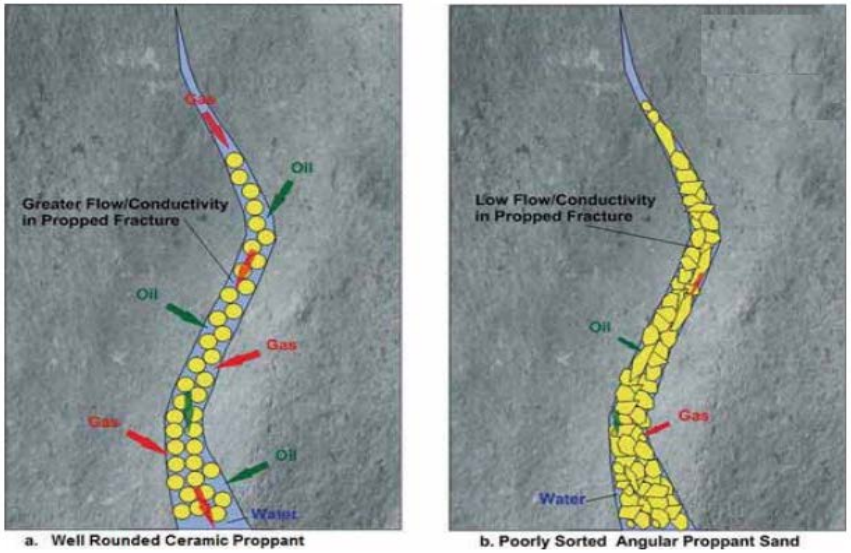
- Frackingvätska med högt tryck (upp mot 25 MPa) pumpas ned i hålet och flödar ut i omkringliggande bergsformationer

- Om vätsketrycket överstiger den minimala principiella stressgradienten i berget och bergartens brottgräns kommer sprickor att skapas som brukar spridas i riktningen med minst motstånd

UPPSALA UNIVERSITET

Proppants





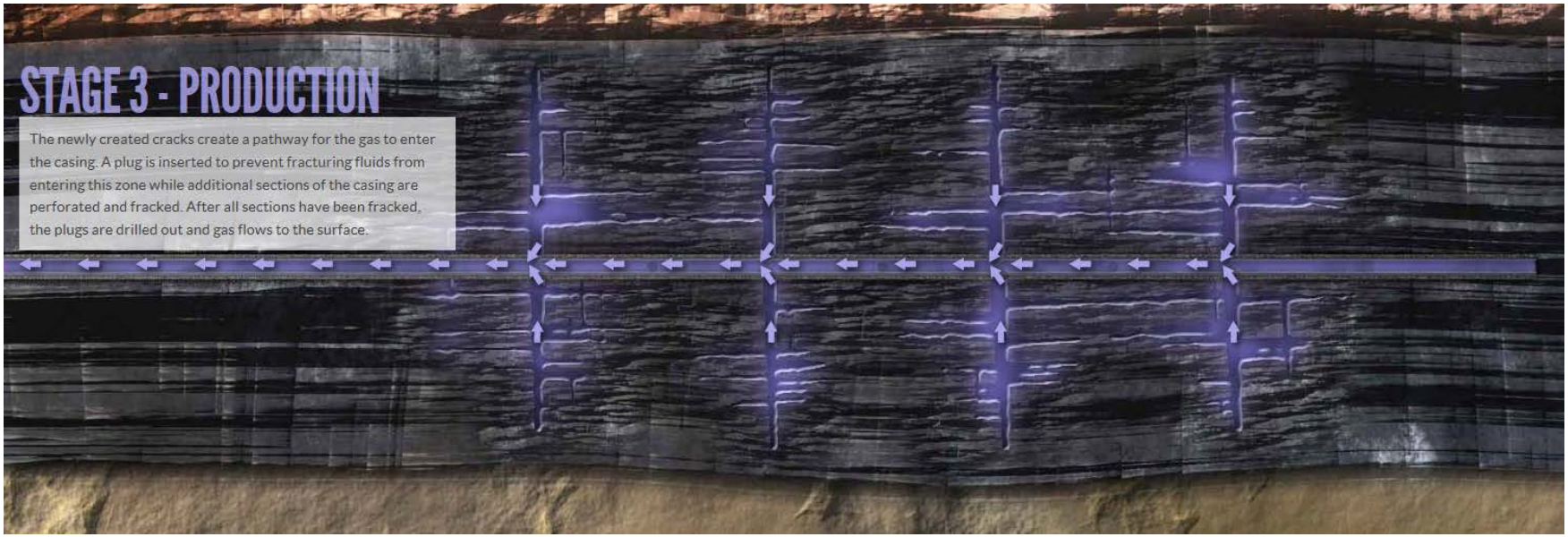
a. Well Rounded Ceramic Proppant

b. Poorly Sorted Angular Proppant Sand

- Injektion av sand eller dylika produkter är viktigt för att hindra sprickorna från att sluta sig på grund av litostatiskt tryck från överliggande berg
- Många olika material finns tillgängliga beroende på kostnad och bergets egenskaper

UPPSALA UNIVERSITET

Steg 3 - Produktion



- Gas eller olja flödar till produktionshålet och pumpas upp till ytan där den ansamlas för uppsamling och/eller vidare behandling
- Produktionen är som högst nästan direkt efter själva frackingen och börjar snabbt avta med minskningstakter runt 60-70% för första året
- Efter några år återstår bara ~10% av ursprunglig produktionskapacitet

UPPSALA UNIVERSITET

Hur länge varar produktionen?

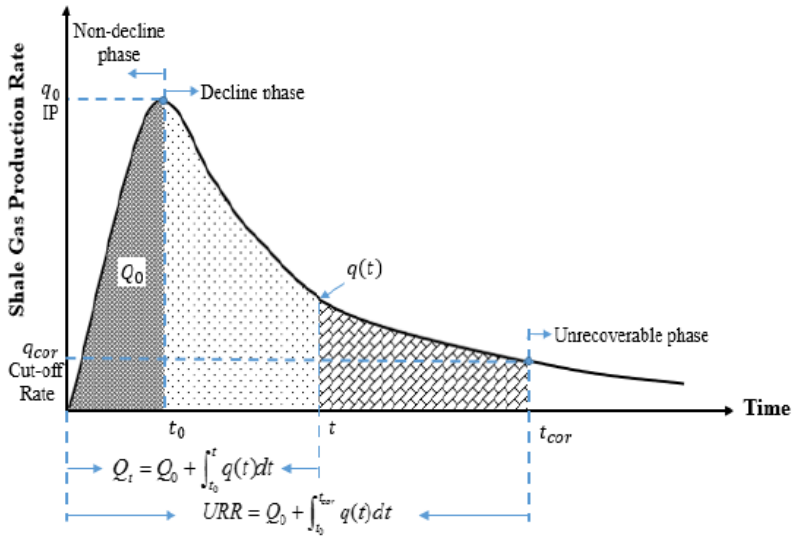


Figure 2 The conceptual production curve.

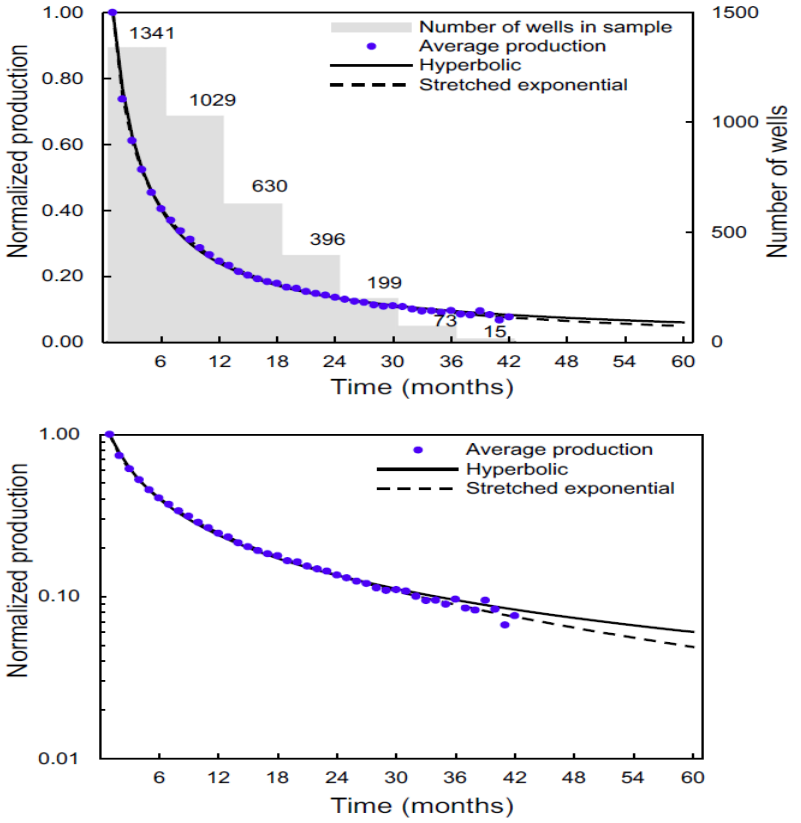


Figure 1. The hyperbolic and the stretched exponential decline curves fitted to average production data.

Maximal produktion nås i regel direkt vid start eller efter några månader

Produktionen avtagandetakt planar ut med tiden och brunnar brukar bli oekonomiska när produktionen är runt 4-5 fat/dag

Källa: Guo et al. (2017) Characteristic Production Decline Patterns for Shale Gas Wells in Barnett. *International Journal of Sustainable Future for Human Security*, 5(1), 12-21.
Wachtmeister et al. (2017) Production Decline Curves of Tight Oil Wells in Eagle Ford Shale. *Natural Resources Research*, 26(3):365-377

UPPSALA UNIVERSITET

Studier av tusentals brunnar

Table 2. Mean annual decline rate during first, second and third year of production

	Year 1 (%)	Year 2 (%)	Year 3 (%)
Mean annual decline rate (%)	74	47	19
Remaining production level (% of IP)	26	13	11

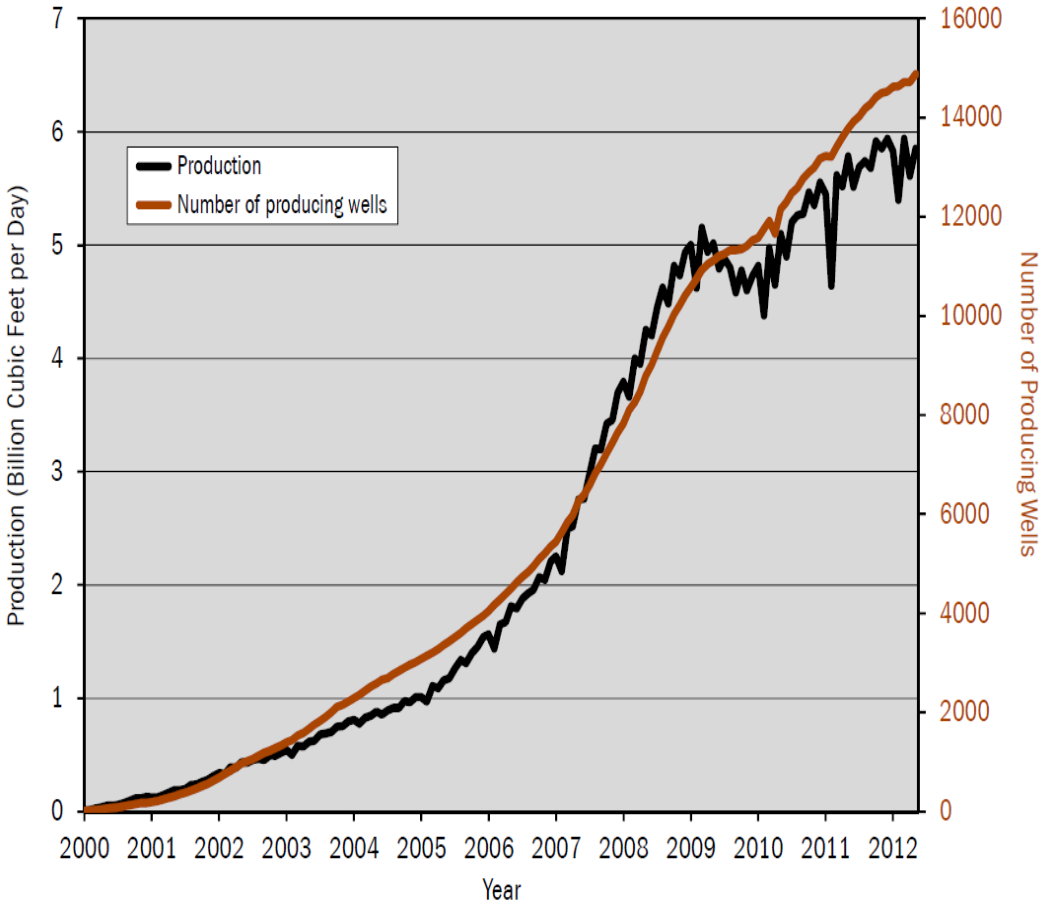
- Detaljerade studier frackade brunnar i Eagle Ford visar att typiska avklingningstakter är höga
- Detta sammanfaller väl med vad som setts i andra viktiga shale plays i USA
- Kort livslängd på brunnarna innan de stängs ned eller återfrackas för att få upp produktionen

Källa: Wachtmeister et al. (2017) Production Decline Curves of Tight Oil Wells in Eagle Ford Shale. *Natural Resources Research*, 26(3):365-377

UPPSALA UNIVERSITET

Borrkrävande verksamhet

Barnett shale gas



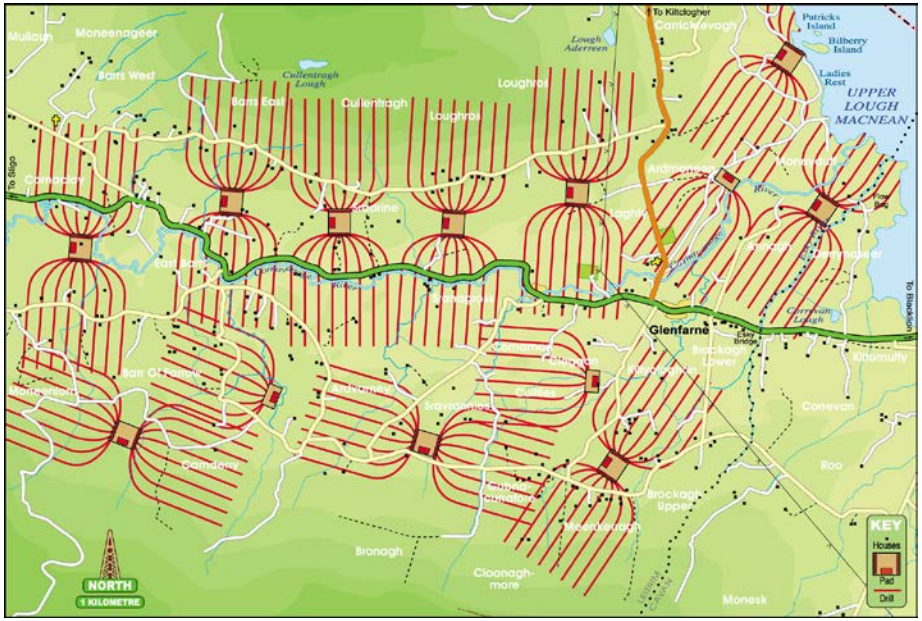
- Cirka 7000 nya brunnar måste borras årligen för att hålla produktionen konstant
- Produktion av skiffergas/olja är väldigt beroende på borrfrekvens och antalet borriggar i drift
- Tar cirka 30 dagar att borra ett hål

Källa: Hughes (2013) *Drill, baby, drill! Can unconventional fuels usher in a new era of energy abundance?* Post Carbon Institute, February 2013

UPPSALA UNIVERSITET

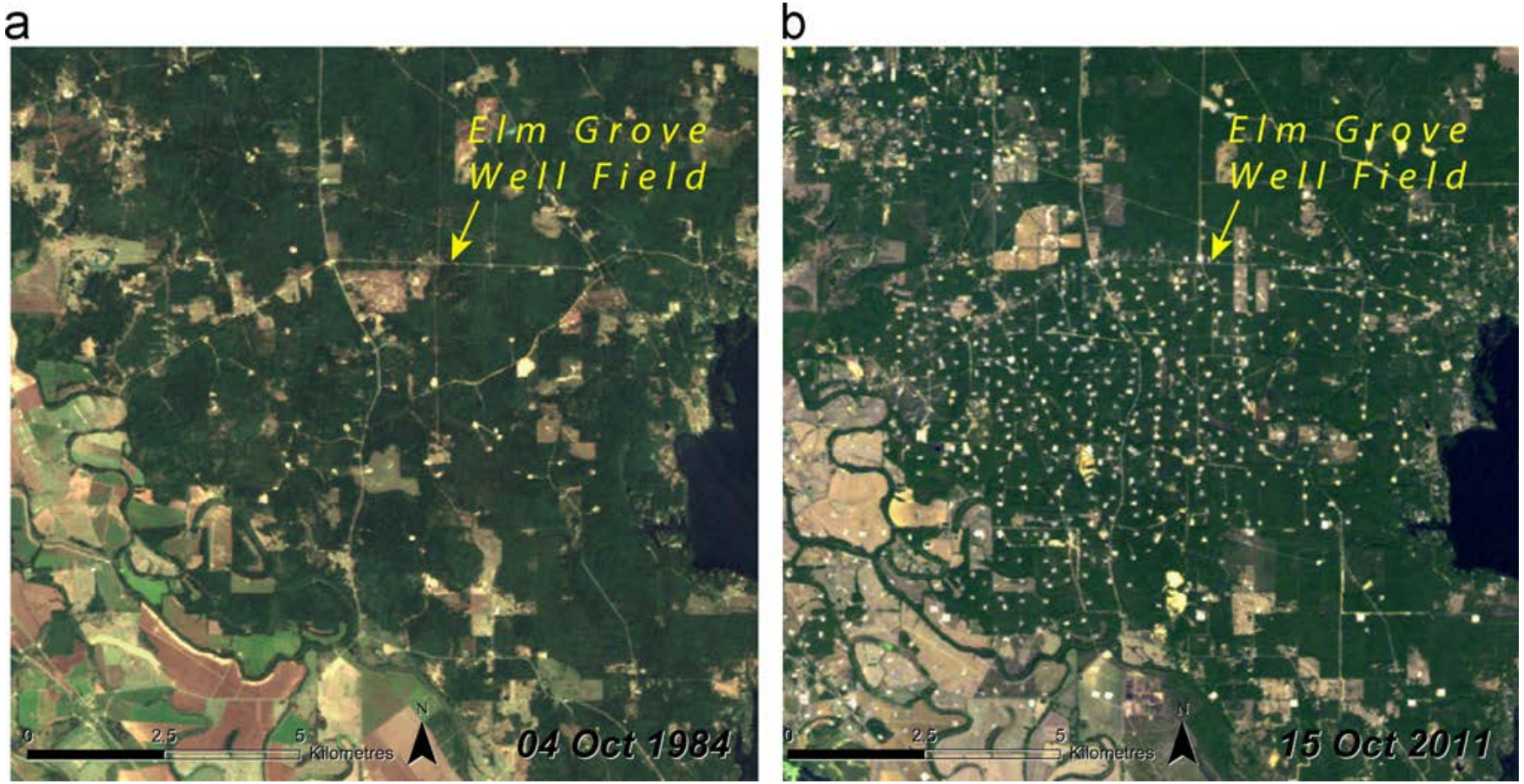
Begränsningar för tätheten

- Frackning kan inte utföras för nära andra producerande borrhål
- Oönskad växelverkan minskar flöden
- Optimering av placeringen är viktigt för att få god produktion i en region



UPPSALA UNIVERSITET

Flygfoton



Källa: Global Environmental Alert Service (2013) Gas fracking: can we safely squeeze the rocks? *Environmental Development*, 6(4):86-99

UPPSALA UNIVERSITET

Mer flygfoton



Aerial view of the 'Oil Patch' in Eddy County, part of the Permian Basin



Aerial view a fracking well with waste water pond and surrounding wind turbines

UPPSALA UNIVERSITET

Fracking och vatten

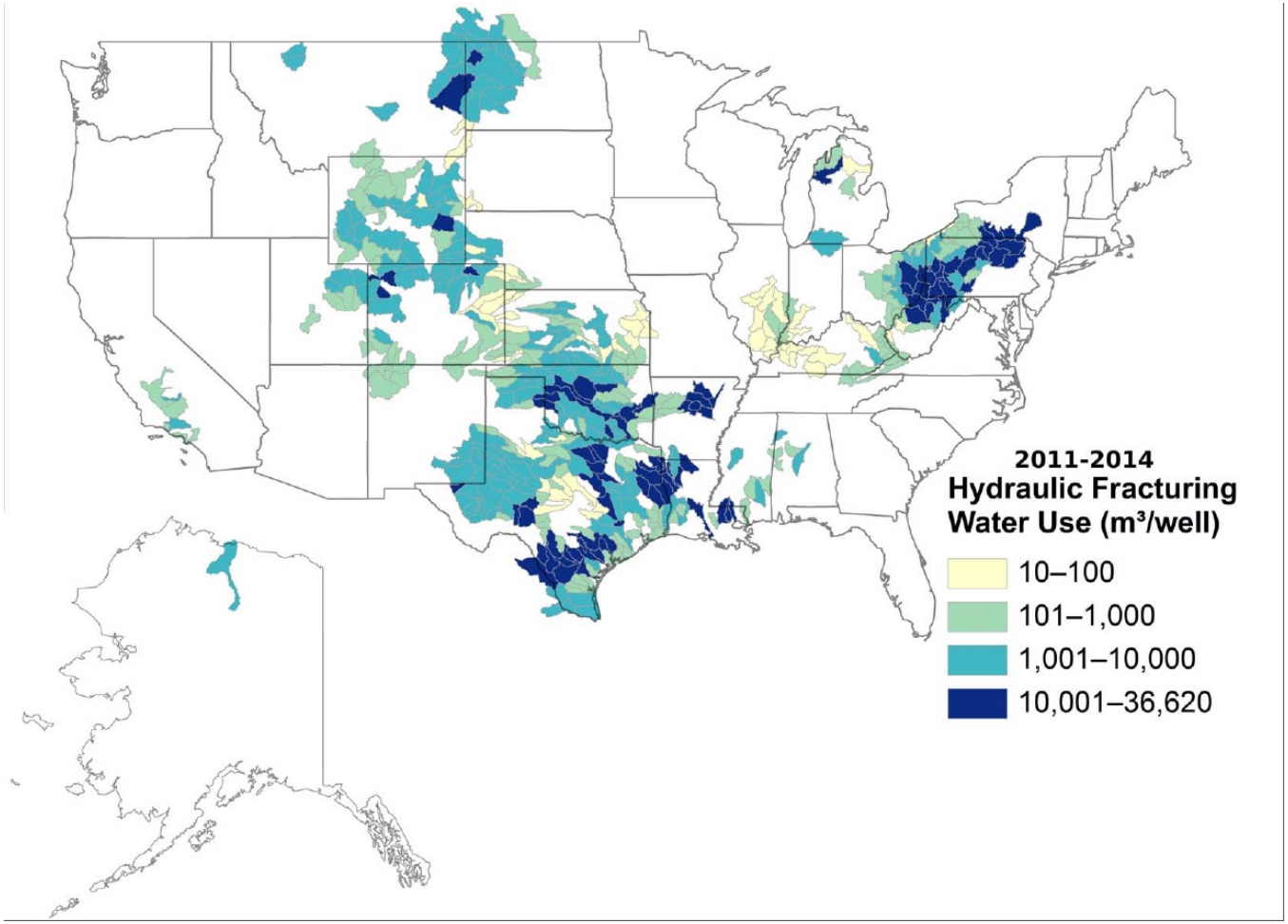
- Fracking kräver stora vattenmängder
- Verksamheten kan därför skapa eller förvärra vattenbrist i torra regioner
- Högre vattenkonsumtion är väntad i Europa eftersom skiffrarna ligger i genomsnitt 1.5 gånger djupare

Shale Gas Play	Volume of Drilling Water per Well	Volume of Fracturing Water per Well	Total
	Liters	Liters	Liters
Barnett Shale	1,514,164	8,706,443	10,220,607
Fayetteville Shale	227,125	10,977,689	11,583,355
Haynesville Shale	3,785,410	10,220,607	14,006,017
Marcellus Shale	302,833	14,384,558	14,687,391

Källor: Faucon (2012) Shale-Gas Boom Hits Eastern Europe. *Wall Street Journal*.
Schmidt (2011) Blind rush? Shale gas boom proceeds amid human health questions. *Environmental Health Perspectives*, 119 (8) (2011), pp. 348–353

UPPSALA UNIVERSITET

Vattenförbrukning per område



Källor: USGS (2015) Water use for fracking

UPPSALA UNIVERSITET

Vattenfri fracking

- Det pågår forskning om att utveckla nya typer av fracking som inte använder vatten i lika hög utsträckning
- Främst är det superkritisk koldioxid som är tänkt som frackmedium
  - Utmaning att hitta rätt densitet så att den kan bära proppanter samt spräcka berget lika väl som vatten
- Forskning pågår men det är långt från något som är kommersiellt färdigt att nyttja i stor omfattning

UPPSALA UNIVERSITET

Skiffergas och acceptans?

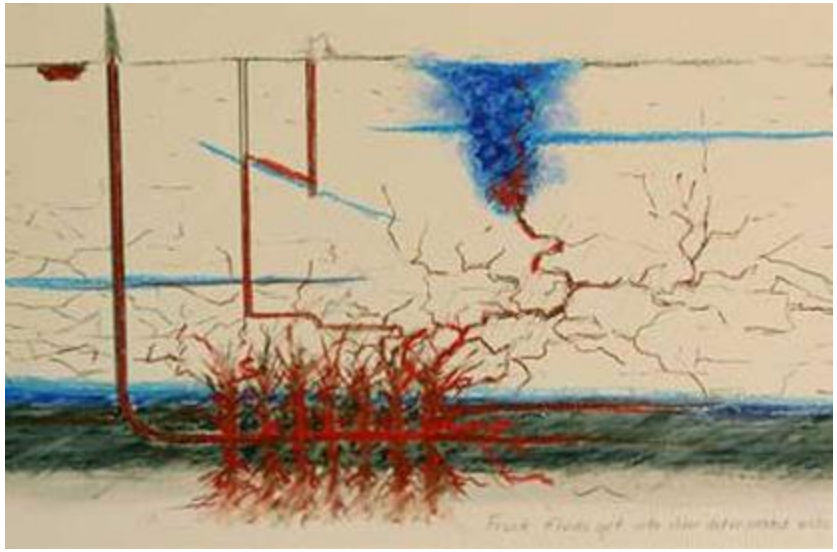
- Dick Cheney undantog bolagen från miljölagstiftningen så att de inte behövde redovisa kemikalieanvändning (”*Halliburton loophole*”)
- Osäkerheter kring påverkan på grundvattnet
- Oklar miljöpåverkan





UPPSALA UNIVERSITET

Läckage

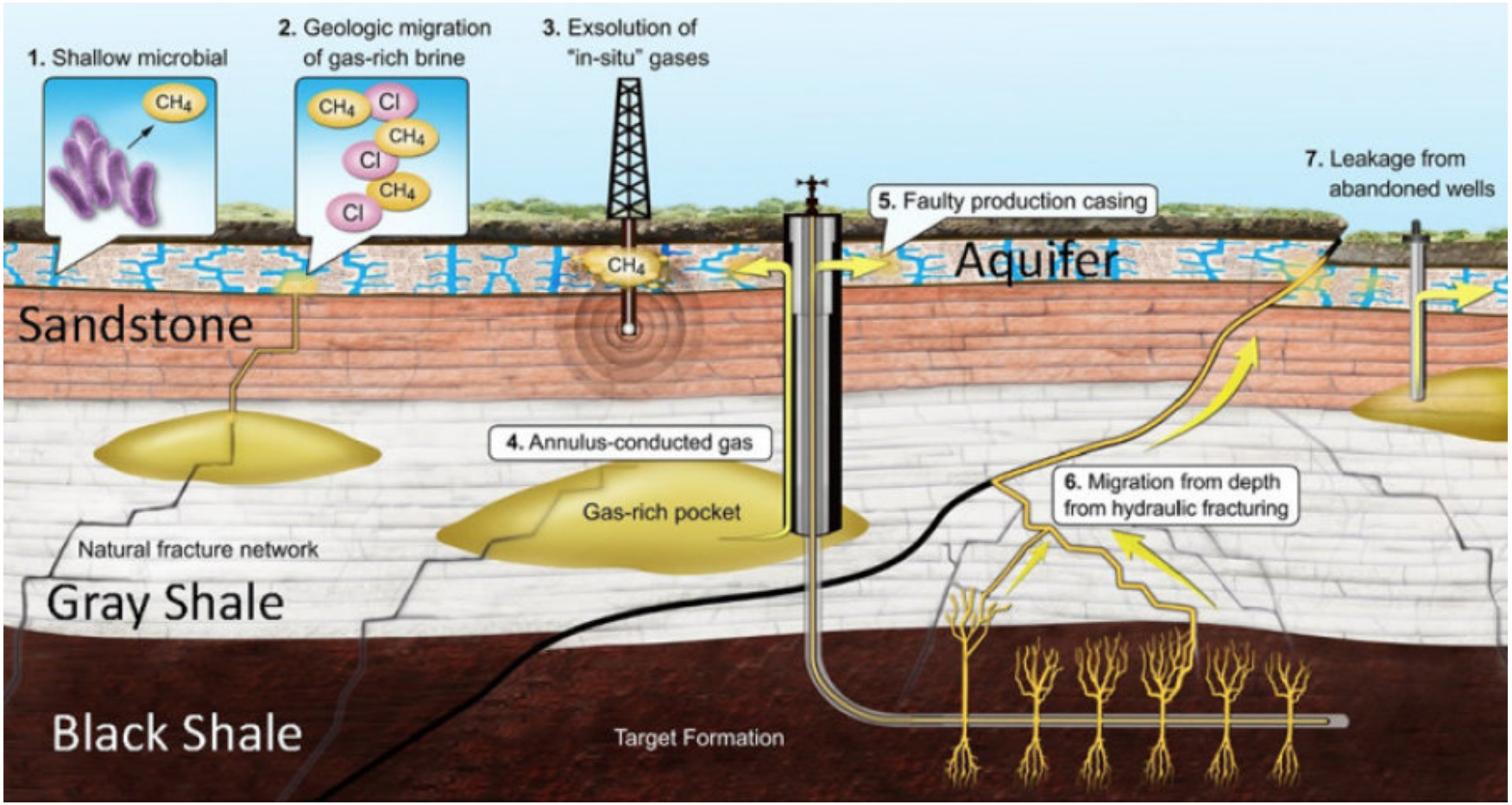


- Sprickorna som skapas kan bli upp mot 600 meter
- Risken finns att det öppnas passager till grundvatten eller upp till markytan
- Injicerade kemikalier eller frigjord olja/gas kan då hamna på oönskade ställen

Källa: Howarth et al (2011) Natural gas: Should fracking stop? *Nature*, 477, 271-275.

UPPSALA UNIVERSITET

Läckage från olika källor

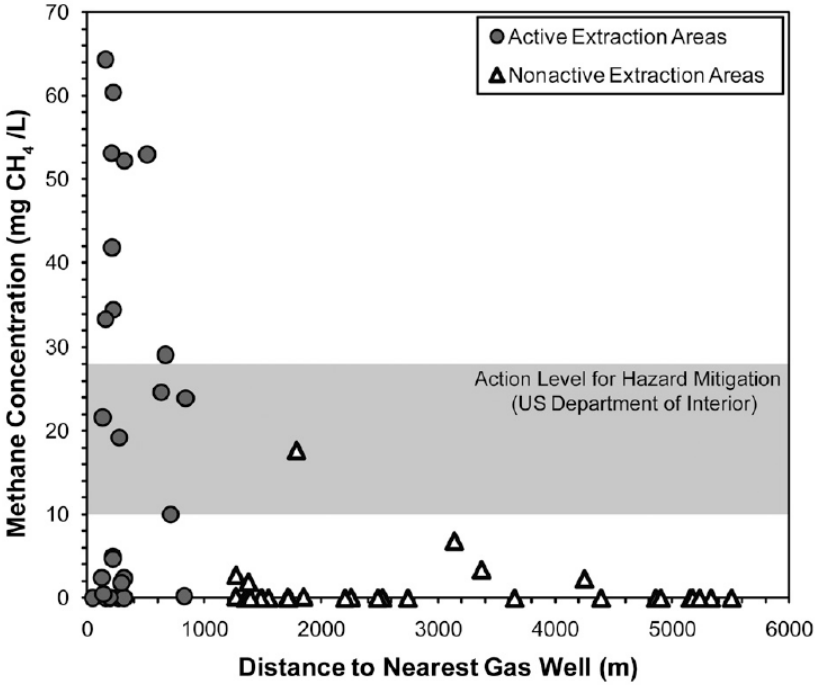


Källa: Darrah et al (2014). Noble Gases Identify the Mechanisms of Fugitive Gas Contamination in Drinking-Water Wells Overlying the Marcellus and Barnett Shales. *PNAS*, 111(39), 14076–14081.

UPPSALA UNIVERSITET

Miljöproblematiken

- Metankoncentrationer har visat sig vara i genomsnitt 17 gånger högre i närheten av aktiva borrsiter och produktionsområden jämfört med oexploaterad mark
- Den genomsnittliga metankoncentrationen i marknära grundvatten i aktiva borrområden faller inom de intervall som kräver åtgärd enligt US Office of the Interior, och de maximala observerade värdena är väl ovanför risknivån
- Jämfört med annan fossil energiverksamhet är fracking relativt dåligt reglerad
- Frackingvätska regleras inte som “hazardous waste” i Resource Conservation and Recovery Act,
- Frackade brunnar täcks inte av Safe Drinking Water Act
- Metanhalten ger I vissa fall upphov till brännbart kranvatten



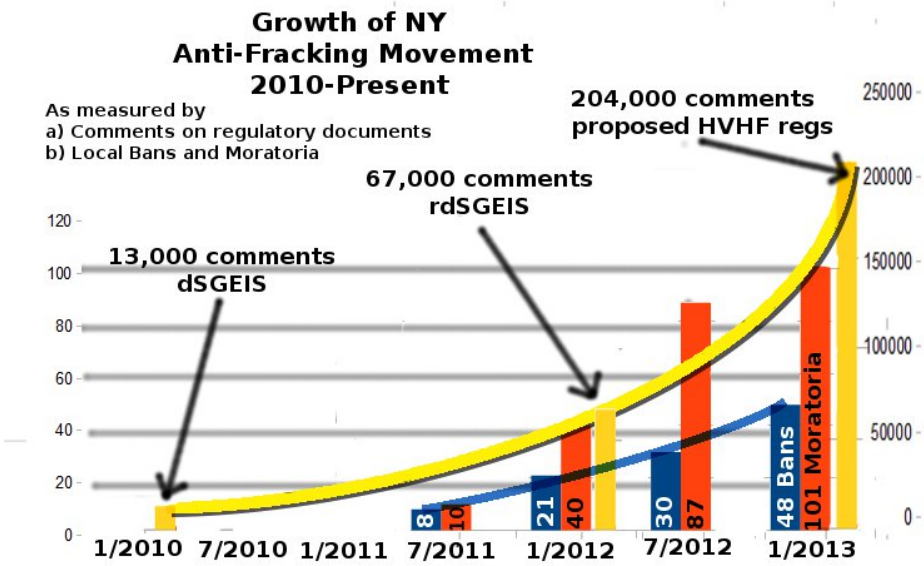


Källa: Osborn et al (2013) Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *PNAS*, 108(20), 8172-8176.

UPPSALA UNIVERSITET

Social acceptans

- Generellt växande socialt motstånd till stor del drivet av lokala vatten/miljöfrågor
- Fracking rör sig från relativt obefolkade områden i sydstaterna till New York-området
- Lokalbefolkningens attityd i nya områden





UPPSALA UNIVERSITET

Fracking och klimatet

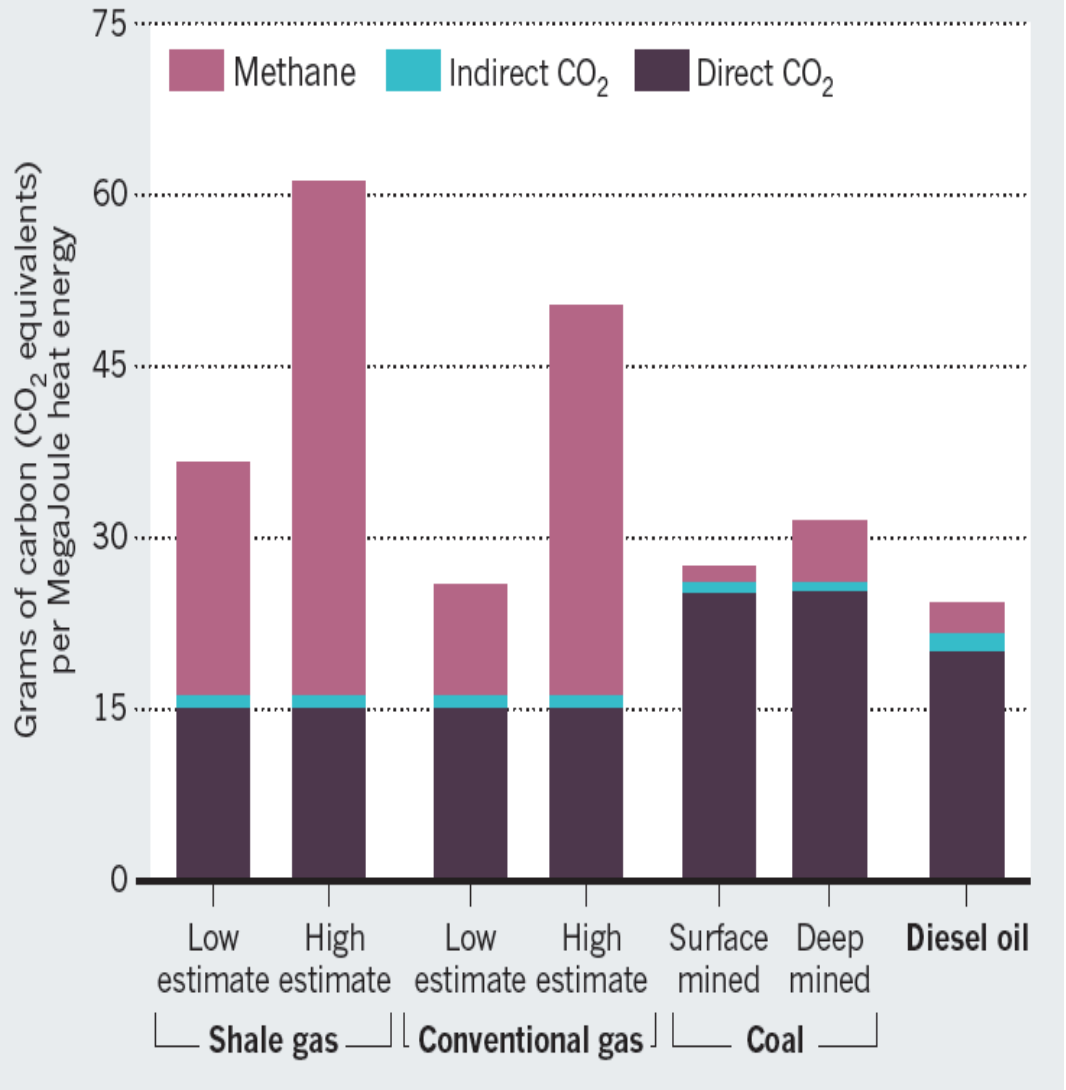
- USA har minskat sina utsläpp av växthusgaser med omkring 2% årligen, totalt över 10% sedan frackingboomen drog igång
  - Mycket radikalare minskningar än exempelvis EU trots avsaknad av Kyotoavtalets ratificering med mera
- Detta sker framför allt genom att kol ersätts med naturgas från frackade skiffrar
- Dock menar vissa att detta inte är hela bilden

UPPSALA UNIVERSITET

Skiffergas och koldioxidlast

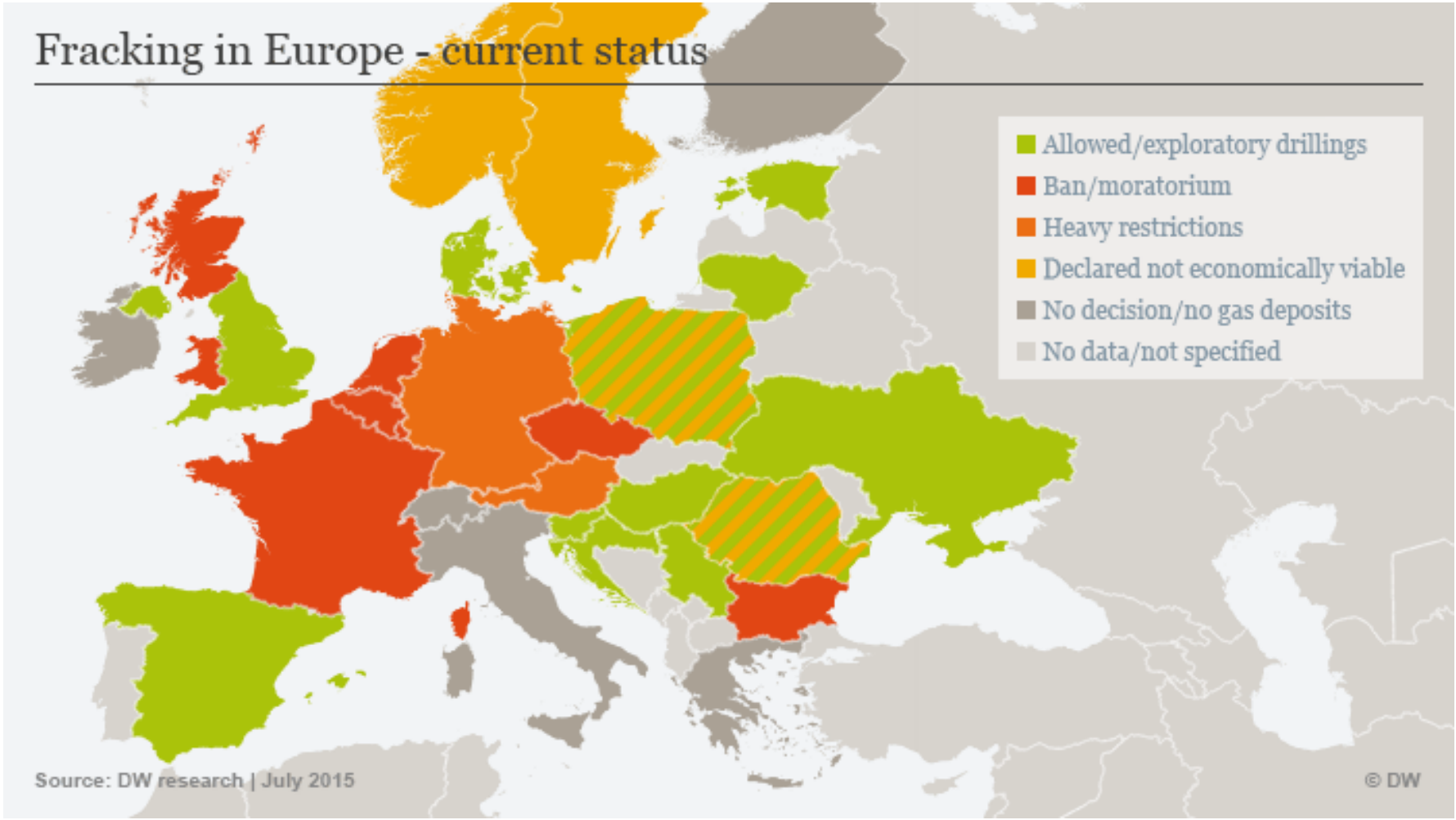
- Färsk forskning visar på att några procent av gasen smiter förbi produktionsbrunnarna och upp till atmosfären

- Räknas metanet i skiffergasen om till CO2-ekvivalenter menar forskare att skiffergas faktiskt är smutsigare än kol i klimatperspektiv



UPPSALA UNIVERSITET

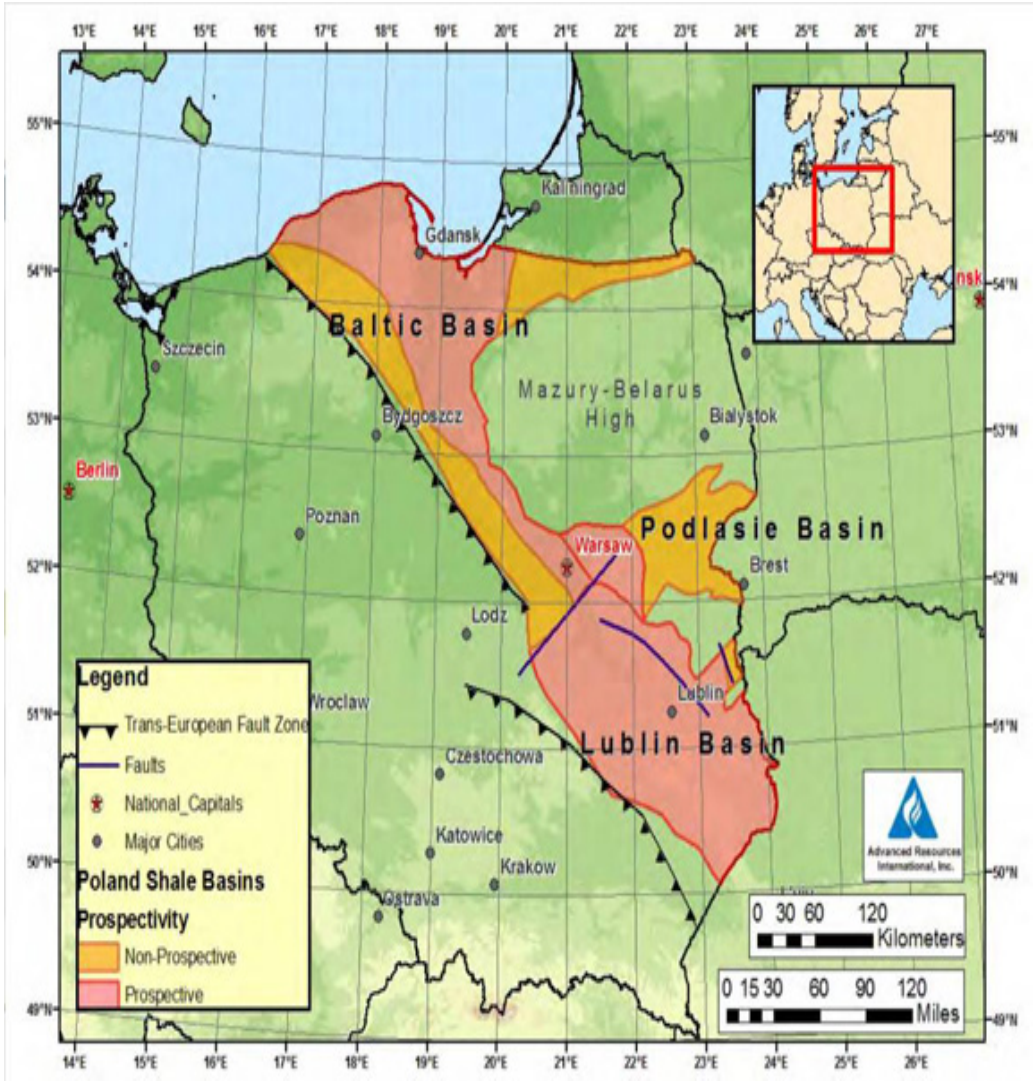
Läget i Europa



Källa: DW Research (2015)

UPPSALA UNIVERSITET

Polen – europas hopp?



Flera multinationella bolag (Chevron, Exxon, Talisman, Marathon med flera) har dragit sig tillbaka från regionen

Besvikelser över dåliga resultat från letandet, omständig byråkrati och växande lokalt motstånd

Polens skiffergas tycks existera mer i mediavärlden än i verkligheten

UPPSALA UNIVERSITET

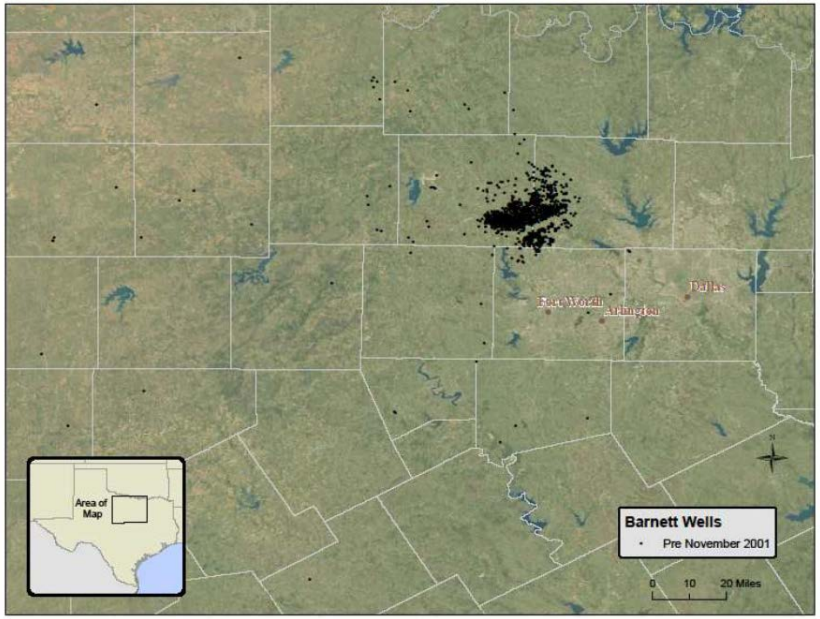
Polska skifferdrömmar

- Industrins provborrningar har varit mestadels negativa och flera bolag har dragit sig ur...
  - Chevron så sent som 31 Januari 2015
- Dock fortsätter regeringen att framhäva Polens lovande skiffermöjligheter
- Upprätthålls en illusion för att ge politisk hävstång i klimatförhandlingar samt i diskussioner kring gasavtal?

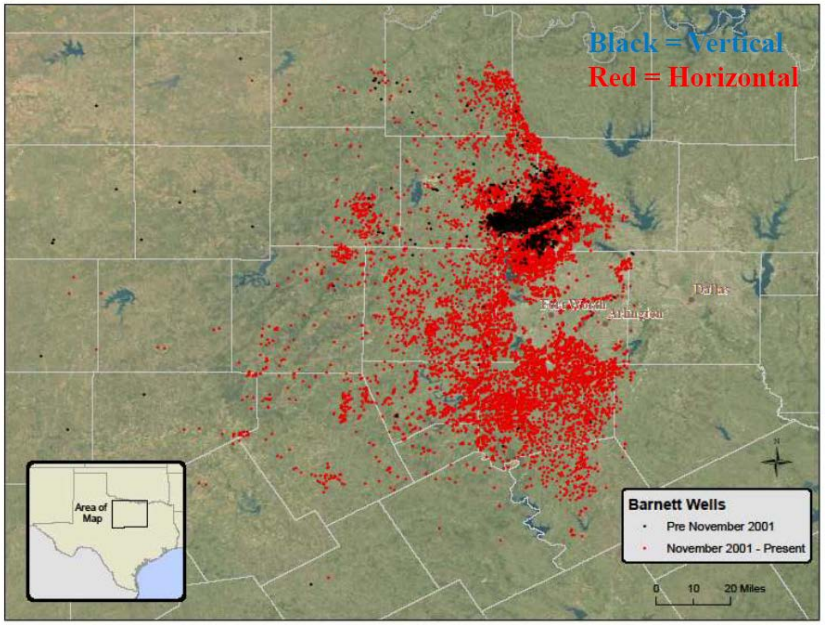
UPPSALA UNIVERSITET

Jämförelse

Barnett Shale Vertical Wells in 2001



2010: >20,000 Horizontal Wells

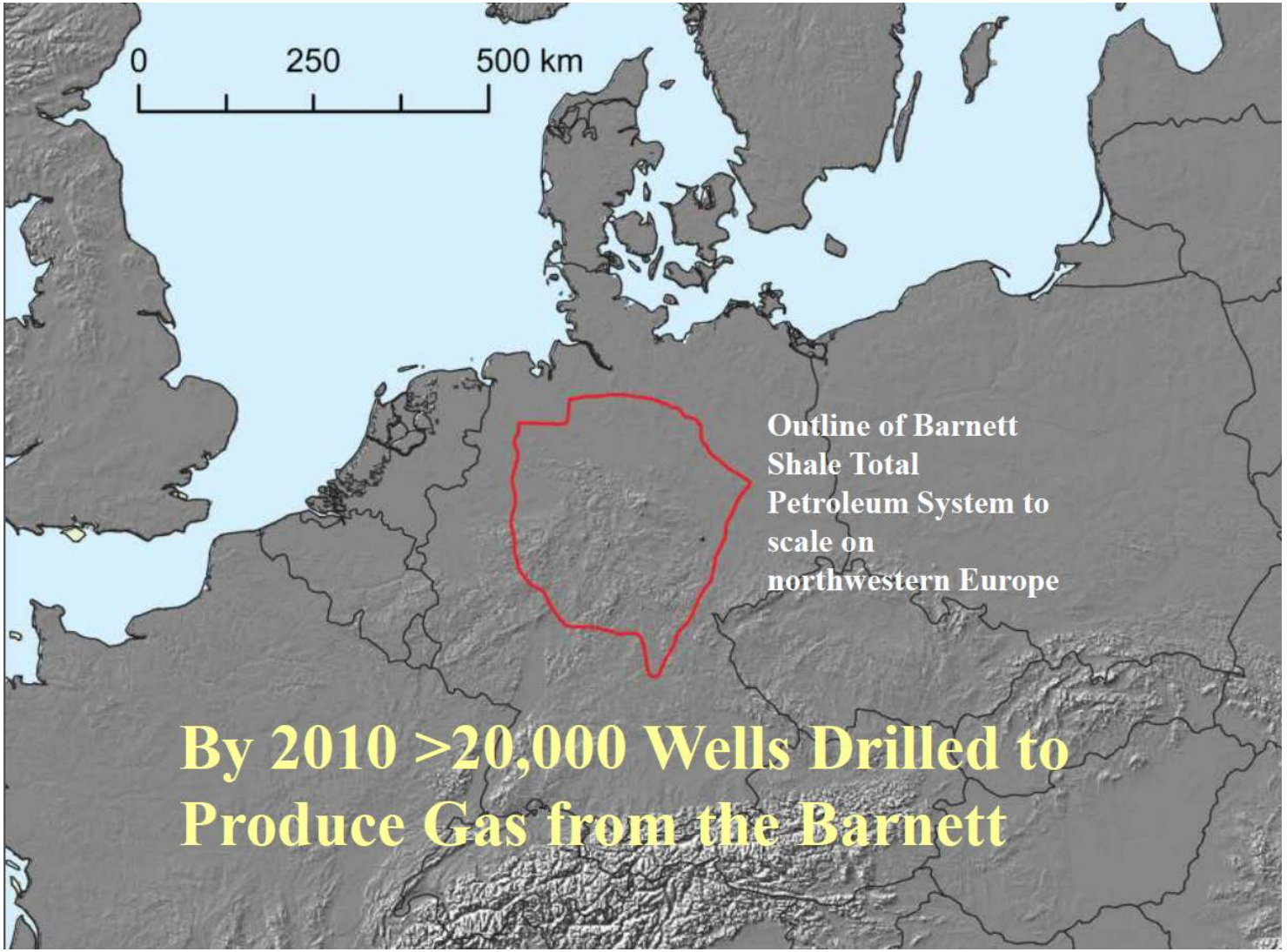


Glöm inte de geografiska faktorerna och hur mycket utrymme som krävs!

Barnett shale play är bara en liten del av Texas…

UPPSALA UNIVERSITET

Barnett vs Tyskland

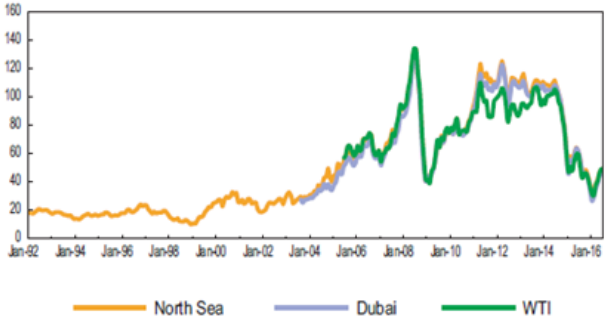


UPPSALA UNIVERSITET

Oljepris & lönsamhet

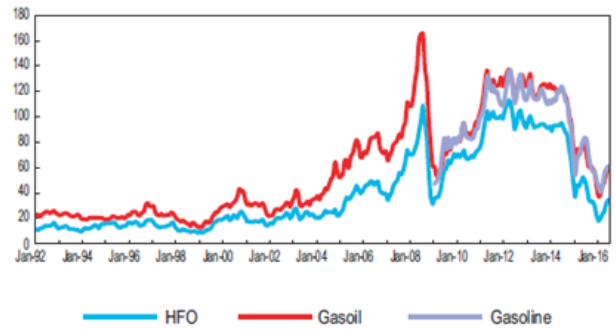
Crude oil

Average key crude oil spot prices in USD/barrel

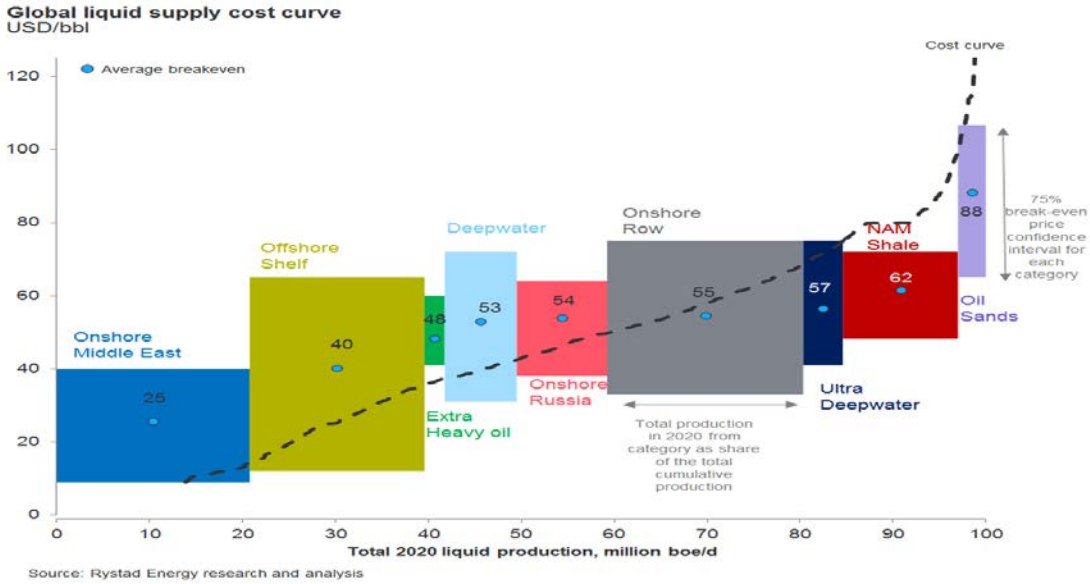


Oil products

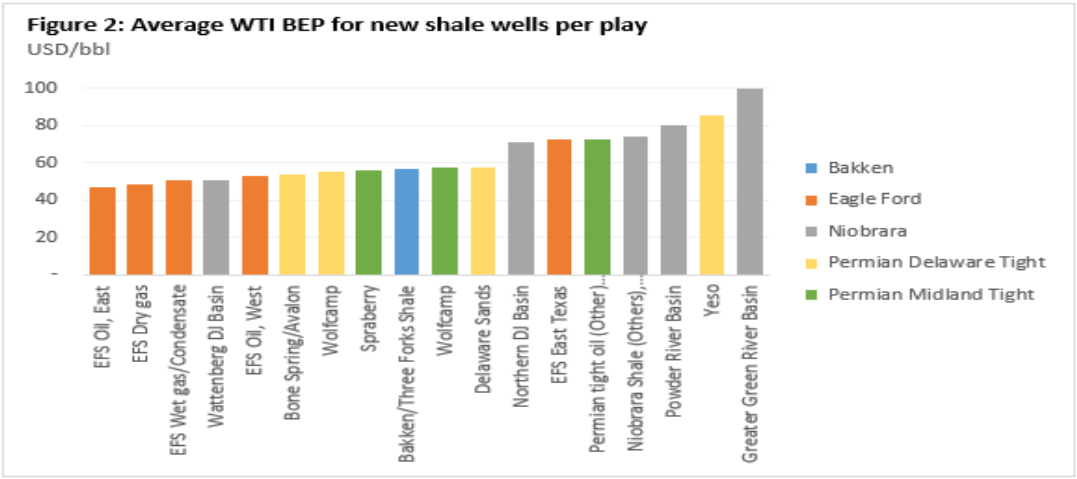
Average Rotterdam oil product spot prices in USD/barrel



Source for all prices: Based on Argus. Copyright © 2016 Argus Media Ltd - All rights reserved.



Source: Rystad Energy research and analysis



Source: Rystad Energy UCube

Källa: IEA (2017) & Rystad Energy (2017)

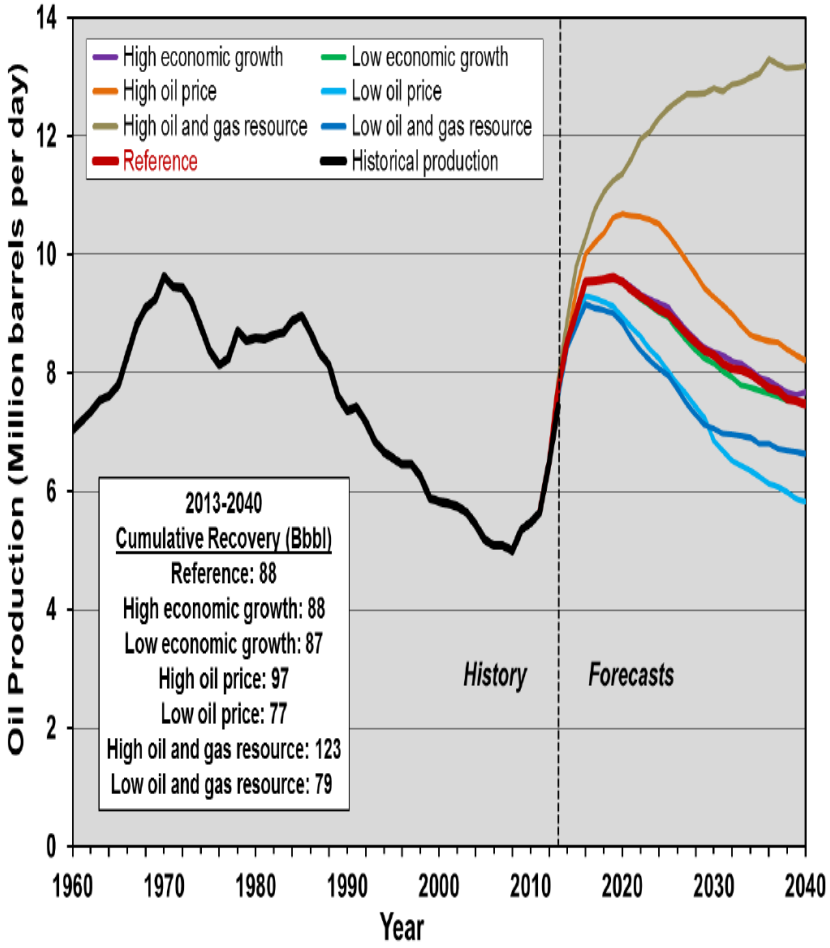
Svälta ut konkurrenterna

- Den Saudiska strategin att svälta ut konkurrenterna verkar fungera tämligen väl… än så länge
  - Skifferoljans framväxt är kväst men inte utslagen
  - Aktiva borriggar har minskar kraftigt sedan 2015
  - Skifferoljans snabba avklingningstakt gör att en långvarig dip i borrandet eroderar bort majoriteten av all uppbyggd produktionskapacitet
- "*Lower for longer*" kan dock inte uteslutas om världens efterfrågan fortsätter att blekna

UPPSALA UNIVERSITET

Framtidsvisionerna

- Skiffergas/olja ses som en "*game changer*"
- USA har åter kommit upp till sina toppnivåer
- Den amerikanska framgången förväntas även ske i andra länder
- Bilden har komplicerats av fallande oljepris



Källa: Howarth et al (2011) Natural gas: Should fracking stop? *Nature*, 477, 271-275.

UPPSALA UNIVERSITET

Sammanfattning

- Frackingteknik har fått stor omfattning i USA, mycket gynnat av ekonomiska faktorer och genom en regleringsmässig gräddfil

- Studier och framväxande bevis rörande miljöpåverkan kopplat till mark/vatten är viktigt underlag för beslutsfattande och har satt käppar i hjulen för explatering i en hel del nya länder

- Skifferolja/gas framstår dock fortfarande som ett ett ekonomiskt och attraktivt energislag som definitivt kommer att spela en viktig roll i framtiden

UPPSALA UNIVERSITET

Tack för uppmärksamheten!



Läs mer om forskningsfältet här:

Globala Energisystem: http://www.geo.uu.se/