

# Tang til energi

**Annette Bruhn**

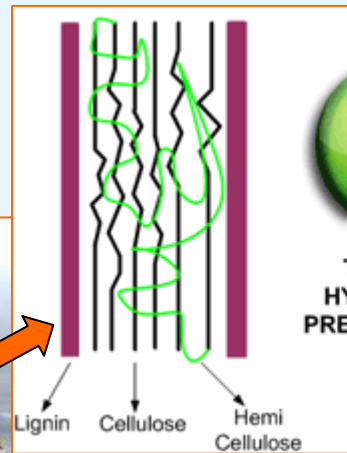
PhD • forsker • projektleder

DMU Silkeborg

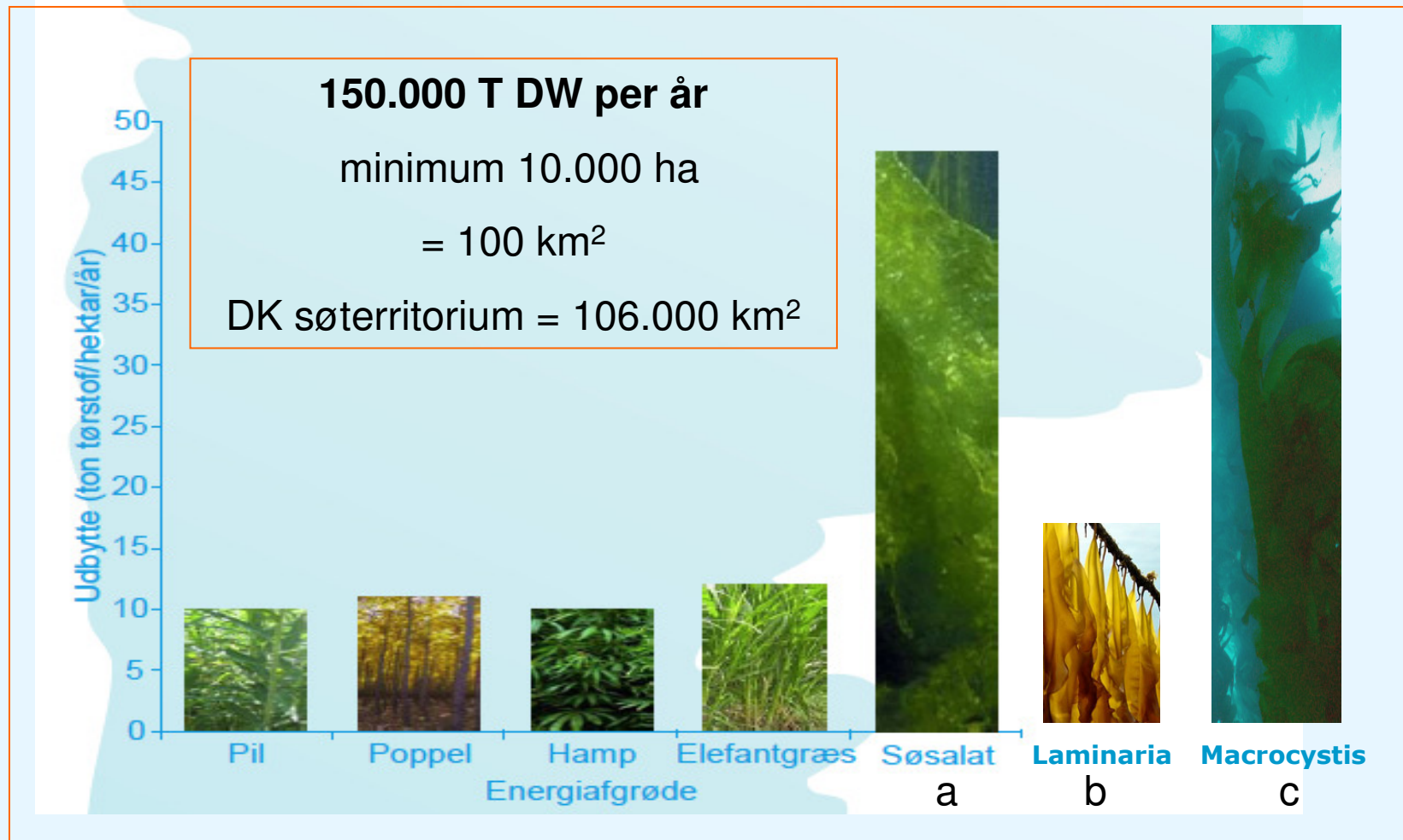


# Tang til energi - produktionskæden

Produktion → Høst → Forbehandling → Energikonvertering

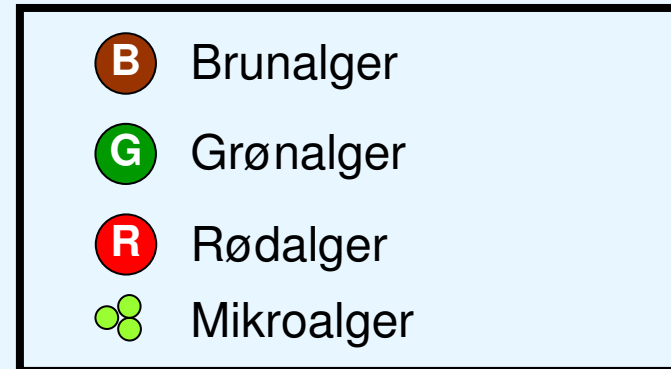


# Tang – biomasse potentiale



a: Bruhn, et al 2011. b: Bruton et al, 2009. c: A.H. Buschmann, Chile, pers com.

# Energi konvertering



## Termisk konvertering

- (Forbehandling – tørring/afsaltning/pelletering) B G DTI. Unpublished
- Direkte forbrænding B G Ross, et al 2008. Bruhn, et al 2011
- Termisk forgasning – syngas G Stucki, et al. 2009
- Pyrolyse – bioolie/biokul B G G Ross, et al, 2009. Demirbas, et al. 2006. Wu, et al. 2006.
- Hydrotermisk forflydning - bioolie

## Biologisk konvertering

- (Forbehandling – kemisk/termisk/enzymatisk hydrolyse)
- Biogas B R G Habig, et al, 1984. Chynoweth, 2002. Gunaseelan, 1997. Vergara-Fernadéz, et al 2008. Bruhn et al, 2011.....
- Bioethanol B R G Horn, 2000. Adams et al, 2009. Wi, et al. 2009. Isa, et al. 2009. Nielsen et al, 2009

# Tørring – pellettering (lagring) – transport



**Ca. 60 % H<sub>2</sub>O**



**Ca. 15 % H<sub>2</sub>O**

# Termisk konvertering - direkte forbrænding



## > Lavere brændværdi end land-afgrøder<sup>a,b</sup>

- > 14–16 MJ kg<sup>1</sup> mod 17–20 MJ kg<sup>1</sup>

## > Højt aske indhold<sup>a,b</sup>

- > 8-14% mod 2-6%
- > slaggedannelse

## > Højt alkali indhold<sup>a,b</sup>

- > tærer kedlerne



Macroalgae metals analysis (as received)

Material	Metal contents (ppm)									
	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Cr	P
<i>Fucus vesiculosus</i> <sup>a</sup>	1275	10,650	13.7	2420	37,450	7710	66.2	29,350	7.2	24,970
<i>Chorda filum</i> <sup>a</sup>	294	13,450	11.2	2095	6885	8185	7.6	20,850	2.7	9770
<i>Laminaria digitata</i> <sup>a</sup>	186	10,600	17.5	1980	36,600	9325	29.1	43,300	1.3	8750
<i>Fucus serratus</i> <sup>a</sup>	1520	21,750	14.4	2860	24,900	8435	291	23,050	9.0	14,410
<i>Laminaria hyperborean</i> <sup>a</sup>	545	11,600	129.5	2095	68,450	7545	45.0	25,150	5.3	4870
<i>Macrocystis pyrifera</i> <sup>a</sup>	1830	31,950	15.2	3500	26,250	10,600	24.9	54,300	17.2	12,650
Oat straw	51	1088	–	24	20,353	332	–	2710	–	354
<i>Miscanthus</i>	120	1340	–	100	3150	340	–	130	–	300
Willow coppice	50.0	11,020	38	137	3770	1350	181	246	–	471

a: Ross, et al 2008. b: Bruhn, et al. 2011.

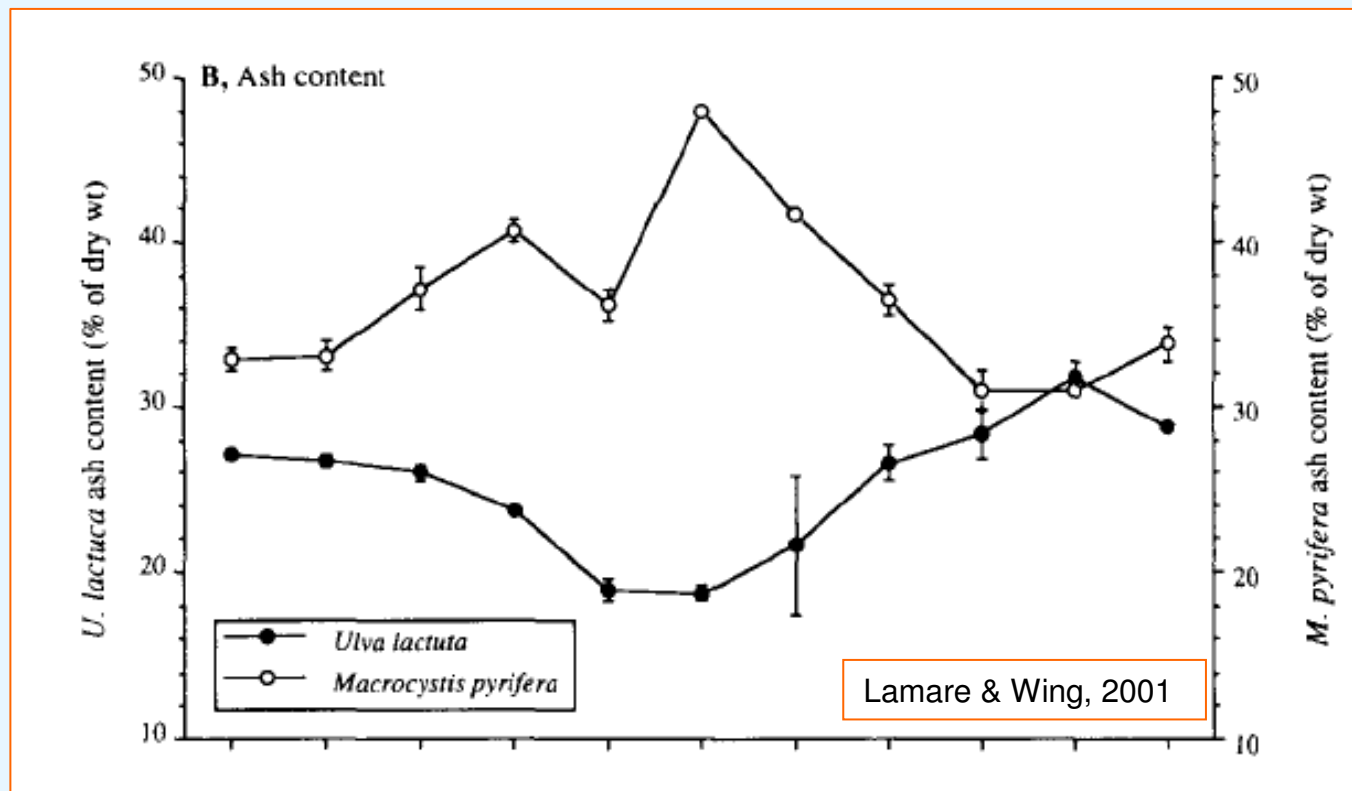
# Termisk konvertering - pyrolyse

- › **Pyrolyse**
  - › kemisk spaltning af materiale ved høj varme uden ilt
  - › Laver pyrolyseolie af fast stof (et olielignende produkt, som efterfølgende kan forædles)
- › **Alger bedre end mos<sup>a</sup>**
  - › 46,8 – 48,2 % udbytte ved 775-825 K
  - › Filamentøs grønalg
- › **Brunalger kan pyrolyseres til brændstof og kemikalier<sup>b</sup>**
  - › dog bør mineraler og halogener fjernes ved forbehandling



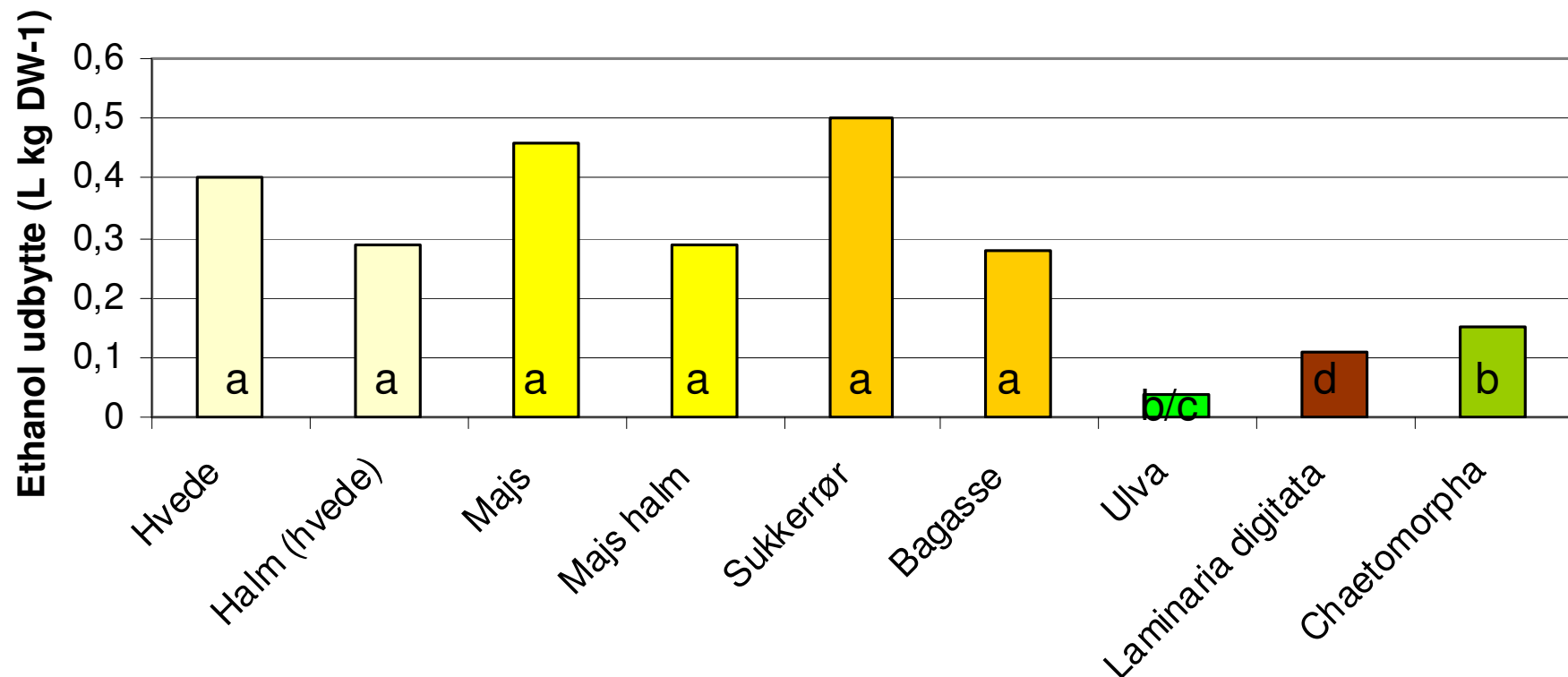
# Termisk konvertering - udfordringer

- > **Askeindhold**
- > **Alkali komponenter**
- > **Vask – sand/salt**
- > **Høst tidspunkt**



# Biologisk konvertering - bioethanol

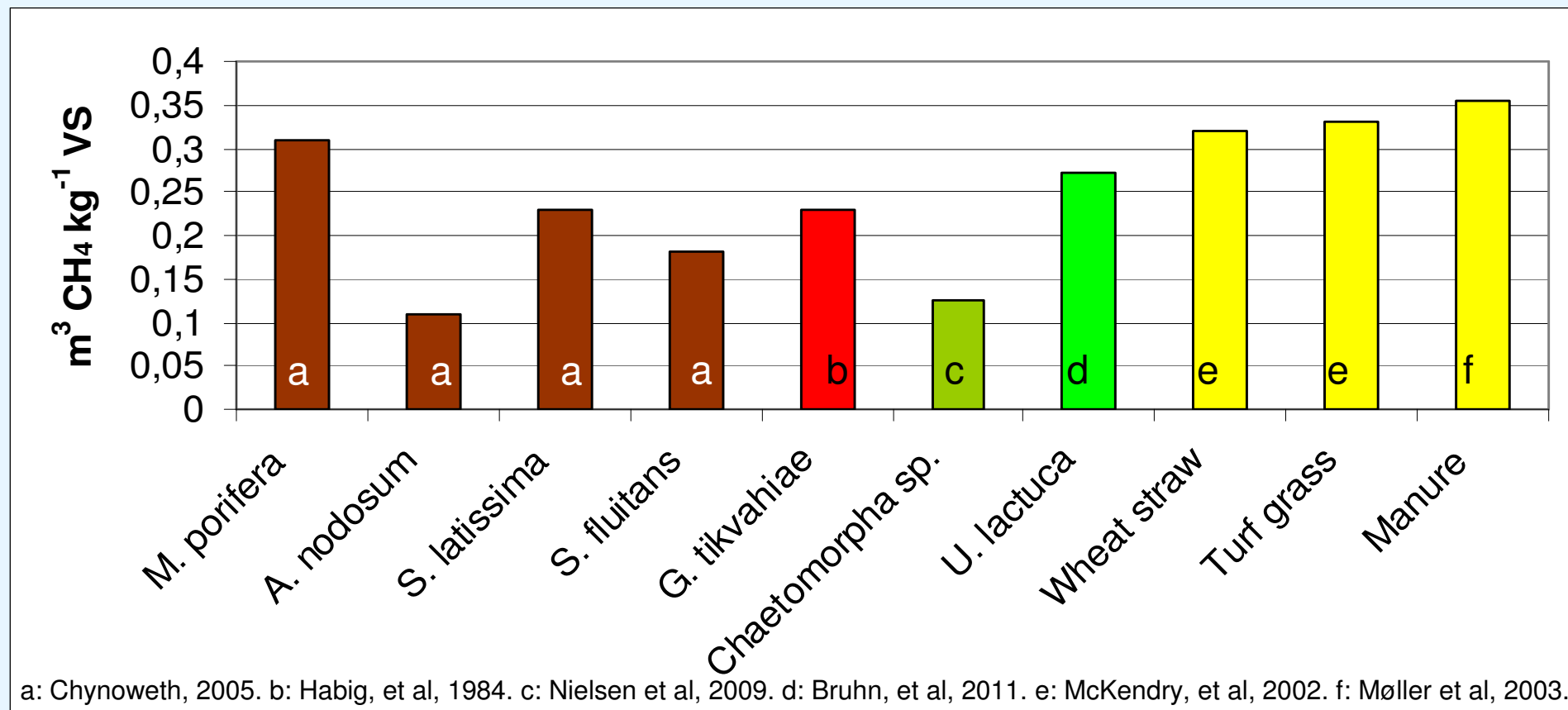
- › Transport brændstof – 2. generation
- › Anaerob forgæring til alkohol, C6 sukre (C5 sukre)



a: Kim & Dale, 2004. b: Nielsen et al, 2009. c: Isa et al, 2009. d: Schiener, et al. Biomara, Skotland

# Biologisk konvertering - biogas

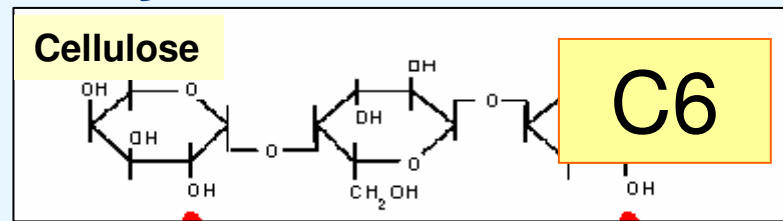
- › Varme, el, transport
- › Anaerob forgæring til biogas (50-75% methan)



# Biologisk konvertering - udfordringer

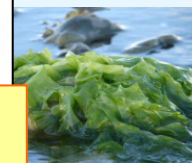
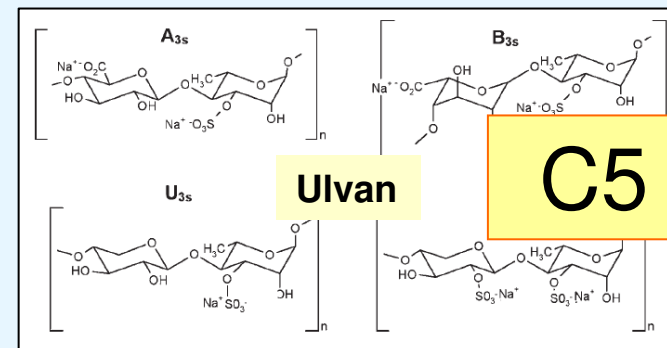
## › Forbehandling: Kemisk – enzymatisk – termisk hydrolyse

- › salt og vand (vask/tørring)
- › ”oplukning af biomassen”
- › Enzymer



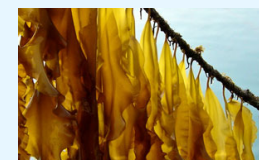
## › Alkohol fermentering

- › Alternative mikroorganismer



## › Forgasning til biogas

- › Specifikke mikroorganismer - marint inoculum
- › Svovl fjernelse



# Generel udfordring - økonomi

**Tabel 3.** Estimerede produktionsomkostninger for dyrkning/høst af store brunalger.

Reference	Kelly & Dworjany, 2008	Bruton, et al., 2009	Chynoweth, 2002	Reith, et al., 2005	Bjerregaard, pers. kom., 2009 <sup>a</sup>
Nation	Skotland	Frankrig	USA, Florida	Holland	Danmark, Kattegat
Udbytte/ha vådvægt (ww)	130	-	-	-	23-65
Udbytte/ha tørvægt (dw)	13	20	-	20-50	3,5-10
Pris/T d.w. (Dkr)	4.230	1.986	580-2.119	18.600	3.000
Etablering/ha (Dkr)	20.156	-	19.458	-	18.000

## Produktionsomkostninger:

1 ha

15 T DW

**45.000 DKR**

## Indtjening – biogas:

15 T DW

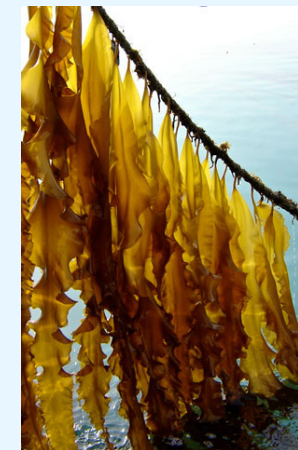
13,5 T VS

3645 m<sup>3</sup> methan (0,27 m<sup>3</sup> kg VS<sup>-1</sup>)

**21.870 DKR** ( 1 m<sup>3</sup> methan ~ 6 DKR)

# Tang til bioenergi

- › **Bruton et al, 2009** (SEI, Irland)
- › **Kelly & Dworjanyn, 2008** (Crown Estate, Skotland)
- › **Reith, et al, 2005** (ECN, Holland)
- › **Wegeberg & Felby, 2010** (DONG Energy, DK)
- › **Bruhn, Rasmussen og Beck, 2010**  
(Klimakommissionen, DK)
- › **Chynoweth, 2002** (review, biogas fra marin biomasse)
- › **Gunaseelan, 1997** (review, biogas fra biomasse)



[anbr@dmu.dk](mailto:anbr@dmu.dk)