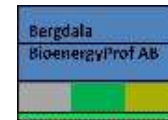


# Effektiv eldningsteknik 1:

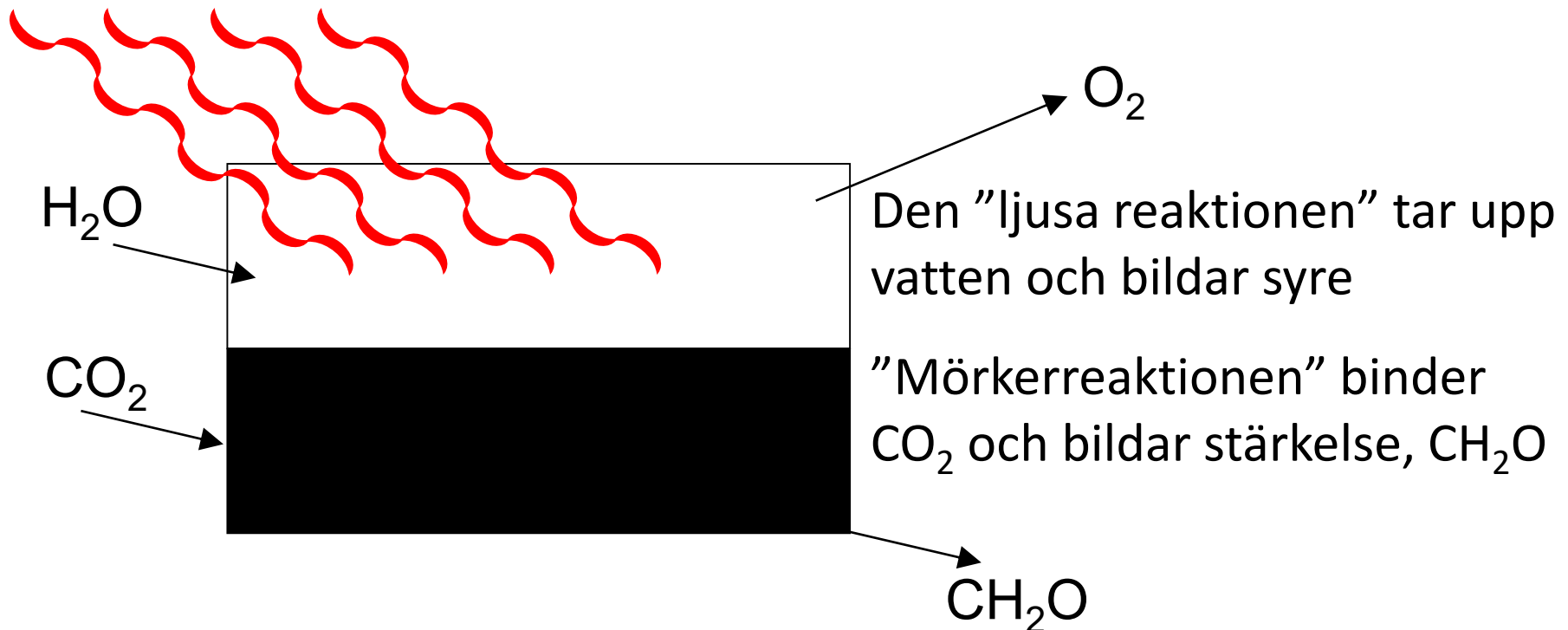
## Vad är egentligen ett bränsle (I)?

Björn Zethräus

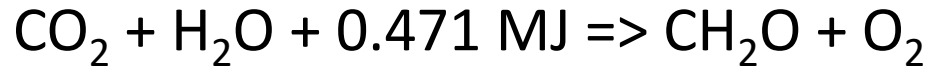
*Professor i Bioenergiteknik/Förbränningsteknik*



# Fotosyntesen består av två olika huvudreaktioner



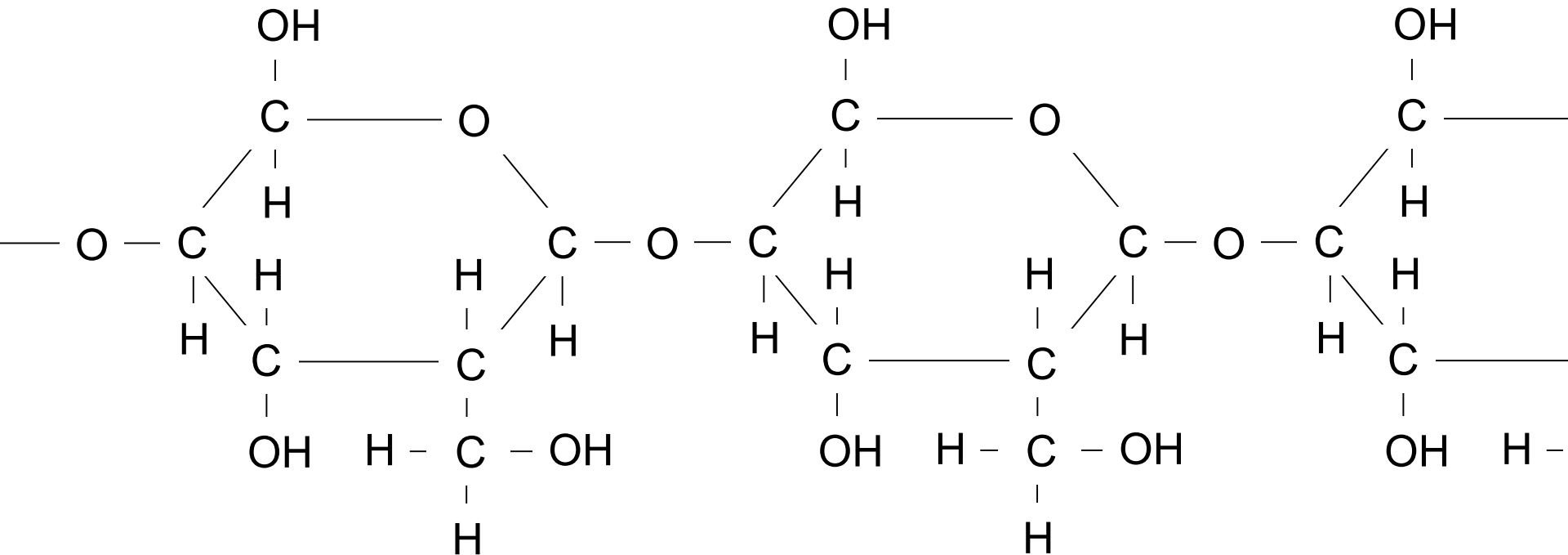
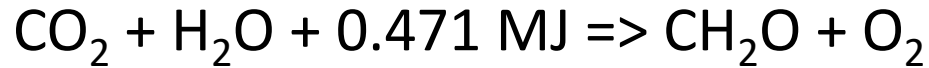
## **Fotosyntesen blir – summariskt**



Stärkelseenheter –  $\text{CH}_2\text{O}$  – kopplas nu samman, först till glukos, sedan till cellobiosenheter via en syrebrygga och sedan till jättemolekyler, cellulosa, med 1500-2500 cellobiosbitar i varje molekyl.

Cellulosa är den vanligaste organiska föreningen på jorden och årligen bildas ungefär 150 000 000 000 ton cellulosa via fotosyntes.

## Fotosyntesen bildar till slut cellulosa



## Cellulosans kemiska formel alltså $(C_6H_{10}O_5)_n$

6 mol kolatomer ( $6 \cdot 602\,252\,000\,000\,000\,000\,000\,000$  st) väger 72 gram.

10 mol väteatomer ( $10 \cdot 602\,252\,000\,000\,000\,000\,000\,000$  st) väger 10 g.

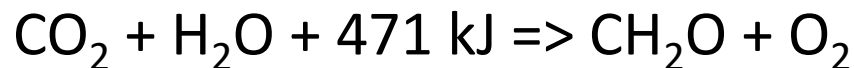
5 mol syreatomer ( $5 \cdot 602\,252\,000\,000\,000\,000\,000\,000$  st) väger 80 g.

Alltså väger en mol cellulosa 162 gram.

162 gram cellulosa består av

- 72 g C, 44.4 %,
- 10 g H, 6.2 %
- resten, 49.4 %, är syre

Fotosyntesen var



1 mol stärkelse: 12 g C + 2 g H + 16 g O = 30 g

I stärkelsen finns alltså  $471 \text{ kJ}/30 \text{ g} = 15.7 \text{ MJ/kg}$

## **Biomassans huvudkomponenter är**

**Stärkelse** – 40 % C, 6.7 % H, 53.3 % O – innehåller alltså 15.7 MJ bunden energi per kg torrsubstans

**Cellulosa** – 44.4 % C, 6.2 % H, 49.4 % O – innehåller litet mera energi, ca 17 MJ/kg torrsubstans.

**Hemicellulosa** består av andra sockerarter än glukos men är, precis som cellulosan, en polysackarid. Den innehåller litet mindre energi, 16-17 MJ/kg torrsubstans.

**Lignin** är en helt annan typ av förening, en polymer, och innehåller mera energi än de andra, ca 25-26 MJ/kg.

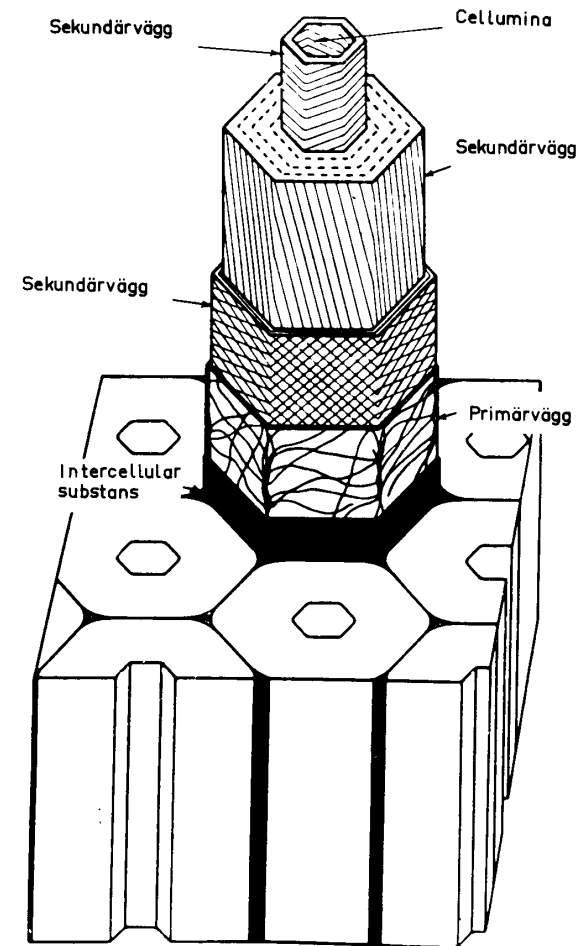
## Växtceller

Cellulosan, hemicellulosan och ligninet bygger tillsammans upp cellväggarna i träd och växter.

I barrträd är strukturen ungefär denna.

Ligninet ”limmar ihop” de långa cellulosa-fibrerna till en stabil struktur.

Hos lövträd är strukturen annan.

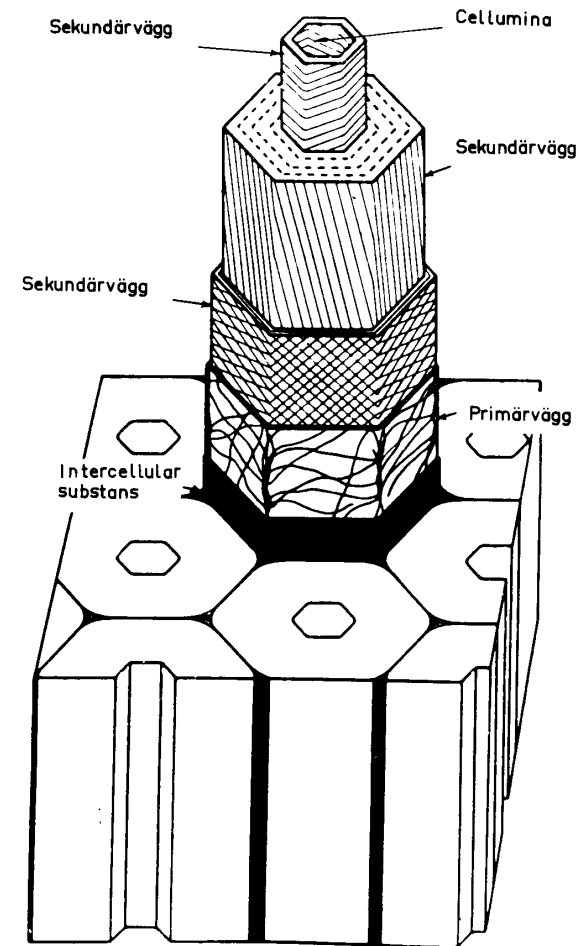


## Växtceller

Cellväggens kompaktdensitet är i praktiken samma,  $1560 \text{ kg/m}^3$ , hos alla trädslag.

Olika densitet hos olika trädslag avspeglar därför i huvudsak olika porositeter,  $f_{por}$ , så att torrsubbstansens densitet

$\rho_{TS} = (1 - f_{por}) \cdot 1560 \text{ kg/m}^3$ , där porositeten är 80 % i balsaträ men bara 20 % i ebenholts.

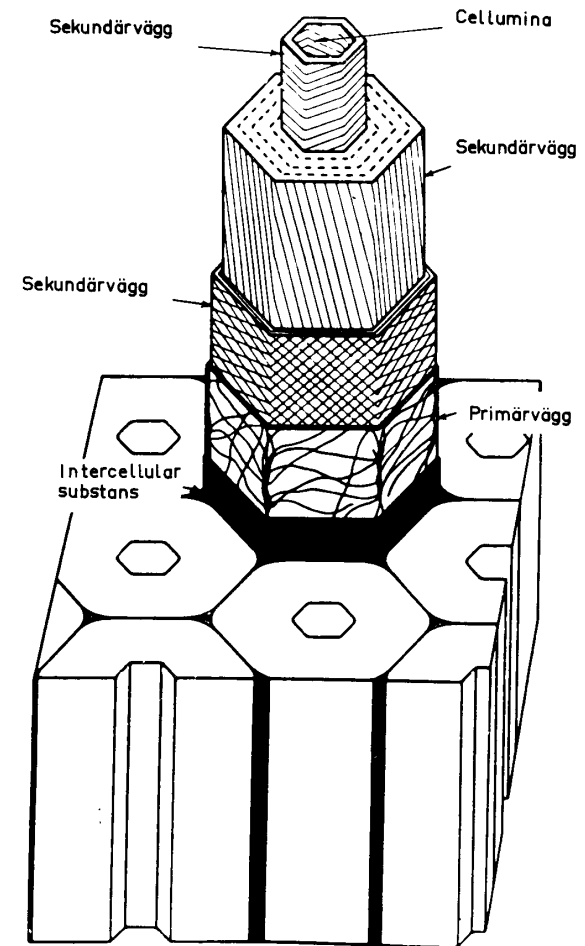




## Växtceller

I cellerna lagras även närings- och mineralämnen lösta i vatten. Näringsämnen är bland andra N (kväve), P (fosfor) och K (kalium), men halterna av andra ämnen som exempelvis kalcium kan vara betydande.

Spårämnen – svavel, klor och annat – förekommer också.

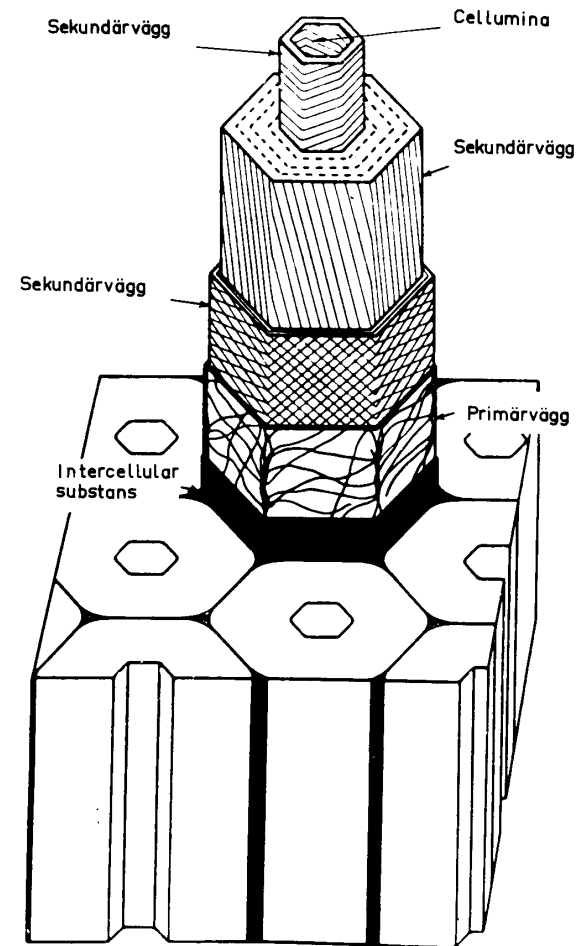


## Växtceller

Närings- och mineralämnen är, ur förbränningsteknisk synpunkt, oönskade och kallas **aska**.

Askhalten är störst i de delar av trädet där transporten sker.

- Askhalt i ren stamved typiskt < 1 %.
- Askhalt i bark typiskt cirka 1-4 %.
- Askhalt i gröna delar typiskt cirka 2-6 %.

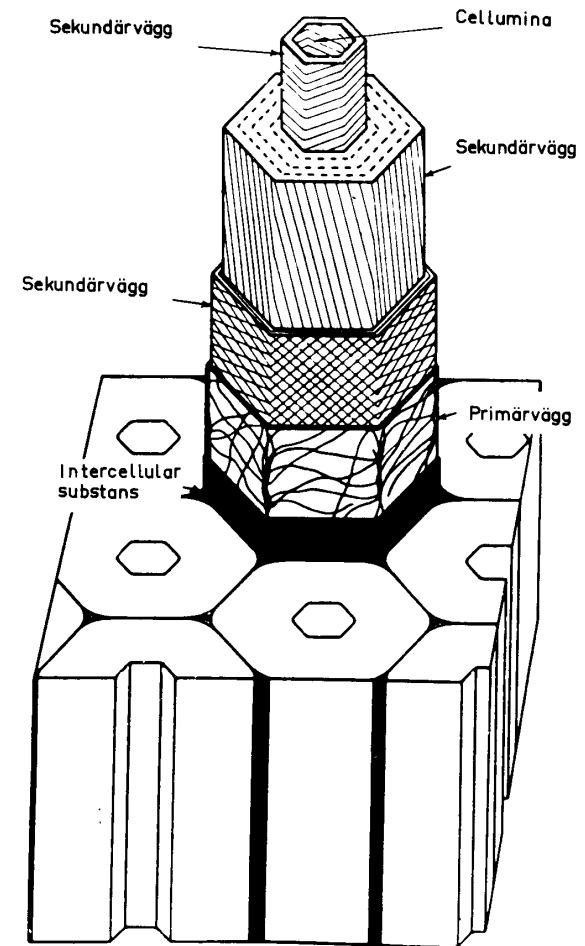


## Växtceller

Den hexagonala cellstrukturen gör att den interna arean hos torrt trä blir mycket stor.

Typiskt värde är  $400 \text{ m}^2/\text{gTS}$ .

Samtidigt kan trä ta upp och hålla stora mängder vatten. En del av vattnet binds med vätebindningar till cellväggen, en relativt konstant mängd motsvarande 21 vikt-% fukthalt.



## **Fukthalten varierar över året**

**Lövträd** vid lövsprickning – Över 50 %

Lövträd under sommaren – Successivt sjunkande

Lövträd vid lövfällning – Cirka 35 %

Lövträd under vintern – Cirka 35 %

**Barrträd** strax före tjällossningen – Cirka 45 %

Barrträd strax efter tjällossningen – Cirka 60 %

Barrträd under sommaren – Sakta avtagande

Barrträd under vintern – cirka 50 %

## **Trädslag och olika delar har olika sammansättning:**

*Värdena är mycket approximativa och gäller askfri substans*

**Barrträd (ved)** – typiskt värmevärde cirka 20-21 MJ/kgTS:

40-45 % cellulosa 25-30 % h-cell 25-30 % lignin

**Barrträd (bark)** – typiskt värmevärde cirka 21-22 MJ/kgTS :

25-35 % cellulosa 20-35 % h-cell 40-55 % lignin

**Lövträd (ved)** – typiskt värmevärde cirka 18-19 MJ/kgTS :

40-45 % cellulosa 25-35 % h-cell 18-25 % lignin

**Lövträd (bark)** – typiskt värmevärde cirka 22-23 MJ/kgTS :

30-40 % cellulosa 15-30 % h-cell 40-50 % lignin

Värmevärde  $\Delta H_{Eff} = \Delta H_{TS} \cdot (1 - f_F) \cdot (1 - f_A) - 2.443 \cdot f_F$  MJ/kg

**Betrakta nu cellulösans kemiska sammansättning för 100 miljoner år sedan, men anta värmevärdet 19.2 MJ Under anaerob nedbrytning kommer materialet i huvudsak att förlora sitt syreinhåll:**

<u>1 kg, 1000 g</u>	<u>Kvar idag</u>
440 g C	440 g C
62 g H	62 g H
494 g O	<i>Försvunnit</i> 0 g O
	502 g

All energi återstår, idag:  $19.2 \text{ MJ}/0.502 \text{ kg} = 38 \text{ MJ/kg}$

## **Efter anaerob nedbrytning fås ett nytt bränsle med**

$440/502 \approx 88 \% \text{ C}$

$64.3/502 \approx 12 \% \text{ H}$

Värmevärde närmare 40 MJ/kg

Detta är precis vad vi har i olja och stenkol

## Bränslen som en produkt av fotosyntesen:

- Biomassa är cirka 50 % C, 6-7 % H, rest syre
- Biomassa har värmeverden 15-25 MJ/kg<sub>TS</sub>
- Fossila bränslen är cirka 85-90 % C, rest H
- Fossila bränslen har värmeverden 30-45 MJ/kg<sub>TS</sub>

**Ett bränsle** kan då betraktas som någonting som innehåller lagrad solenergi, bunden i energirika kemiska föreningar.



## Bränslen som en produkt av fotosyntesen:

- Biomassa är cirka 50 % C, 6-7 % H, rest syre
- Biomassa har värmevärdet 15-25 MJ/kg<sub>TS</sub>
- Fossila bränslen är cirka 85-90 % C, rest H
- Fossila bränslen har värmevärdet 30-45 MJ/kg<sub>TS</sub>

**Ett bränsle** kan då betraktas som någonting som innehåller lagrad solenergi, bunden i energirika kemiska föreningar.

**Förbränning** blir då att köra fotosyntesen baklänges:



# Effektiv eldningsteknik 1:

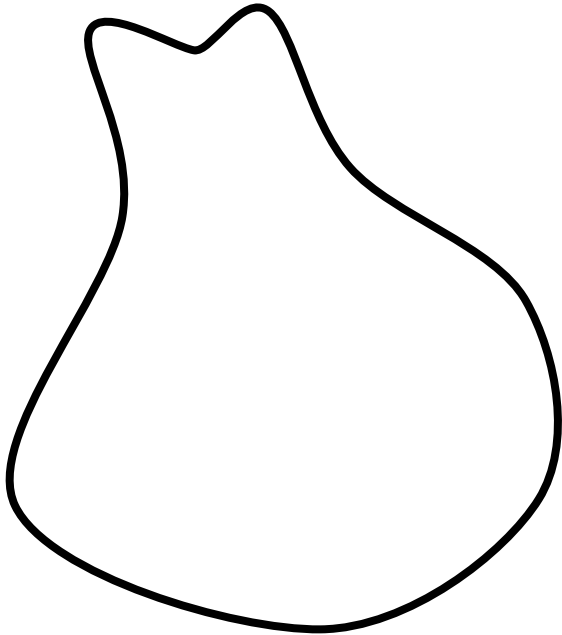
Vad är egentligen ett bränsle (II)?

Björn Zethræus

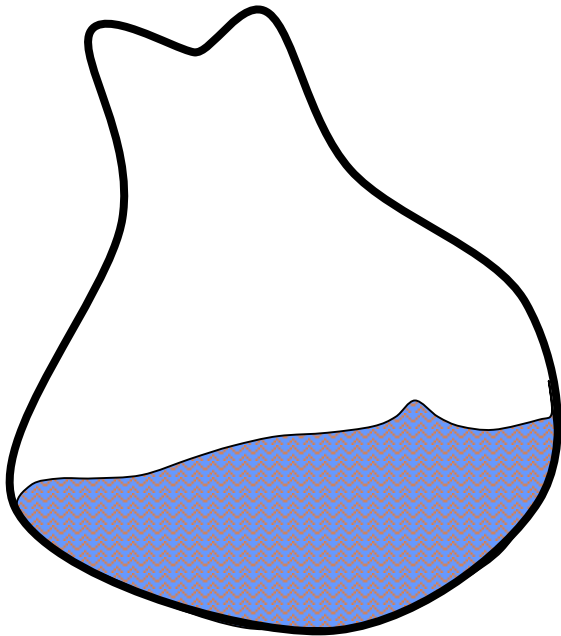
*Professor i Bioenergiteknik/Förbränningsteknik*



**Betrakta en partikel som består av fyra beståndsdelar:**



## Betrakta en partikel som består av fyra beståndsdelar:



**Vatten** förekommer alltid i fasta bränslen

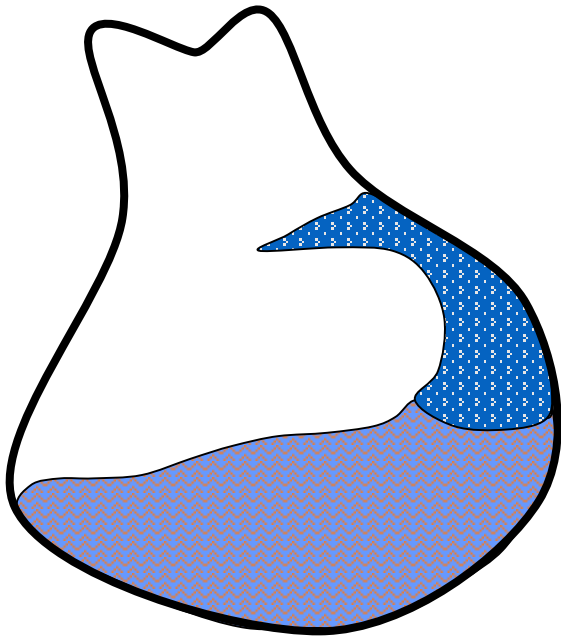
I färsk biomassa kan det vara upp till cirka 65 %, i kol kan det vara ner till enstaka %, i pellets är det 5-9 %, i briketter 10-15 %, i lufttorkat bränsle 20-45 % - men det finns alltid med.

## Betrakta en partikel som består av fyra beståndsdelar:

### Aska.

I biobränslen kan askan dels vara de nödvändiga närings- och mineralämnerna som växten behöver, ca 0,5 – 6 %, men ofta dominerar aska från olika hanteringssteg och totalhalten kan vara upp till 8-10 %.

Det kan vara vägdamm, jord och sten från hygge, terminal eller bränslegård och liknande.



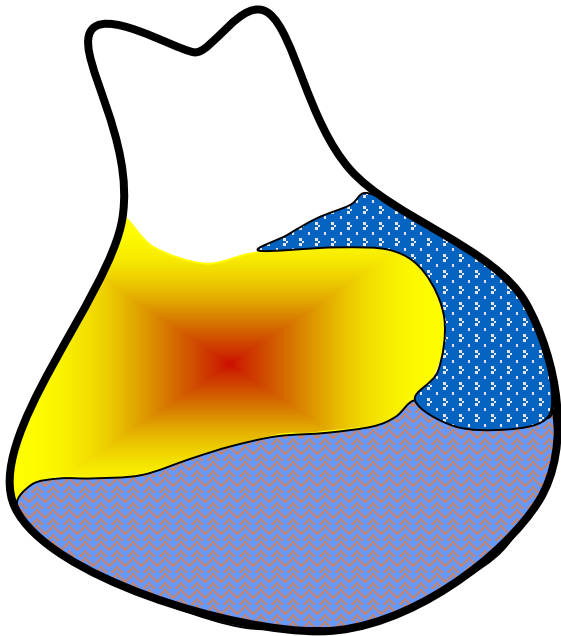
## Betrakta en partikel som består av fyra beståndsdelar:

### Flyktiga, brännbara beståndsdelar.

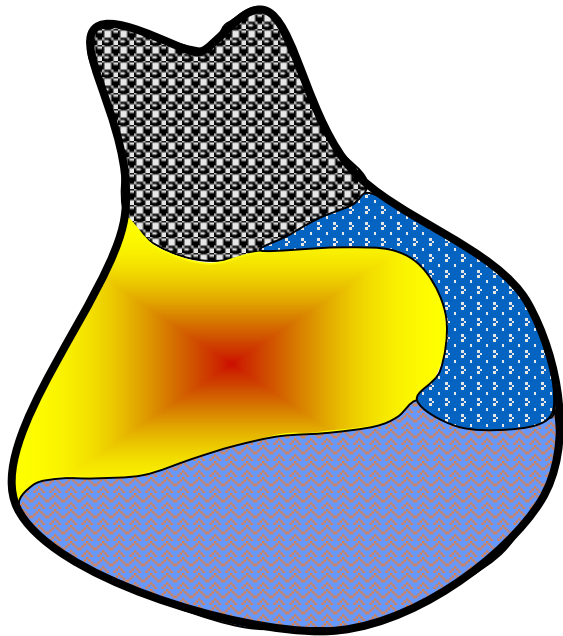
Detta är kolväten, kolmonoxid, väte och andra brännbara gaser som bildas och avges då bränslet värms till 700 °C utan syre.

Först avgasas (*pyrolyseras*) hemicellulosan, sedan cellulosan och sist ligninet.

Från typiska trädbränslen avges ca 65-75 % av torrvikten i form av flyktiga gaser.



## Betrakta en partikel som består av fyra beståndsdelar:



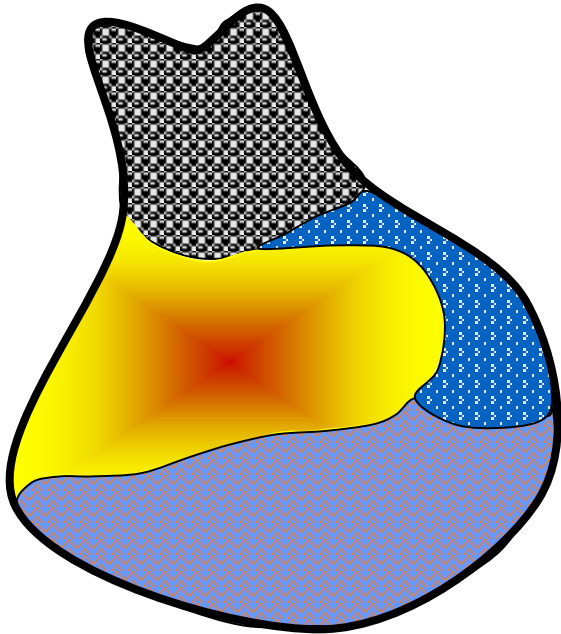
### Fast bränslerest, träkol, “char”.

Detta är inte kemiskt rent kol – men kol är det dominerande grundämnet i denna rest.

Värmevärdet i den fasta bränsleresten är cirka 32-35 MJ/kg medan värmevärdet i de flyktiga gaserna är lågt, cirka 12-15 MJ/kg.

Ungefär hälften av energin frigörs alltså från gaserna och hälften från charen.

## Låt nu partikeln/droppen komma in i en het eldstad:



Först förångas vattnet och avges.

Denna torkning kräver energi – det är en *endoterm* process.

Förångningen innebär att bränslepartikelns temperatur hålls låg – visserligen inte konstant 100 °C, men ändå rimligt låg...



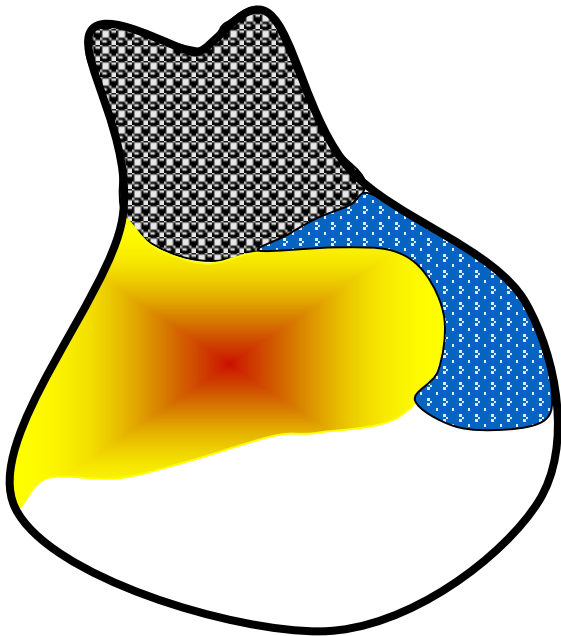
## Låt nu partikeln/droppen komma in i en het eldstad:

Efter torkningen värms partikeln och flyktiga, brännbara gaser bildas och avges.

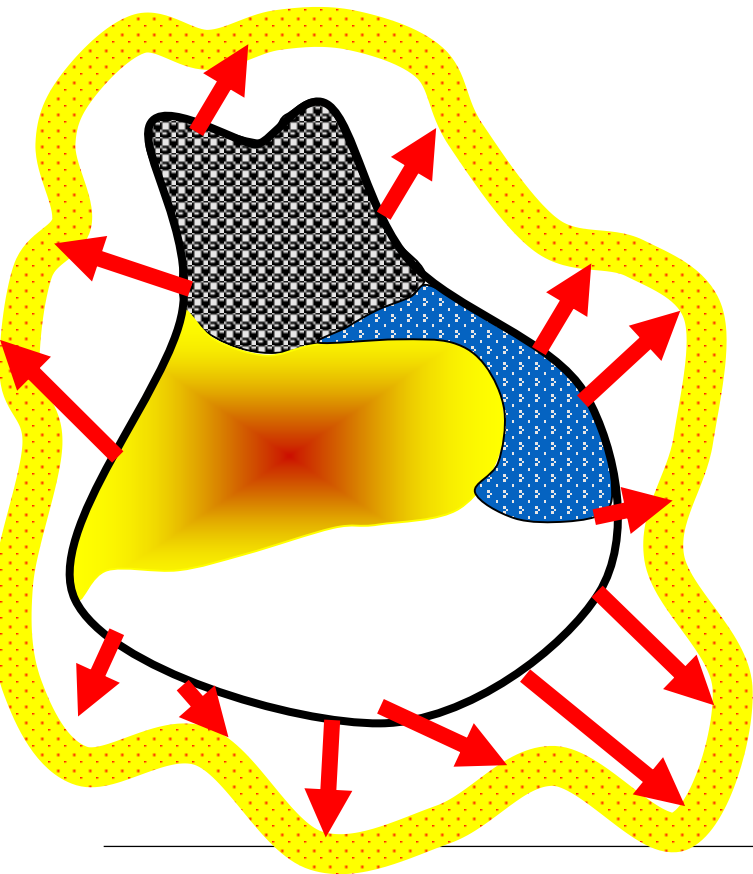
“Avgasning” eller “pyrolys” – men *inte* “förgasning”, det är en annan process.

Även detta är en *endoterm* process.

Från en biobränslepartikel avges gaserna främst längs fibrerna – vilket gör att krossad flis, huggen flis eller salixflis bär sig olika åt under avgasningssteget.



## Låt nu partikeln/droppen komma in i en het eldstad:

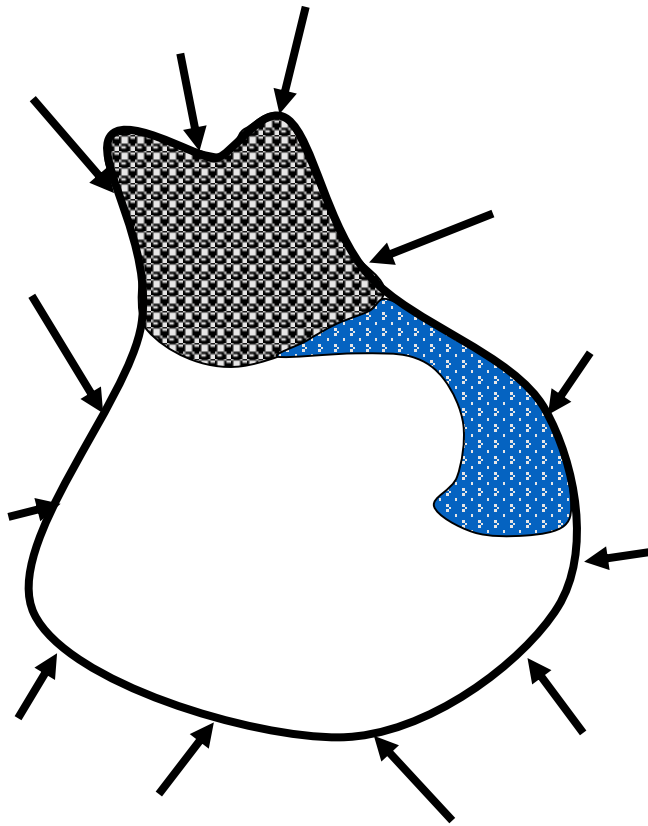


Pyrolys- eller avgasningsprocessen:

Då flykten möter het, syrerik gas i eldstaden antänds den och bildar en gasflamma.

Flamman hindrar syret i gasen att nå partikelytan. Energifrigörelsen i flammen (*exoterm* process) värmer partikeln och tillför nog energi för att driva pyrolysen.

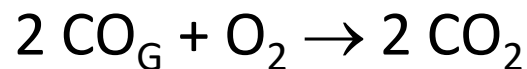
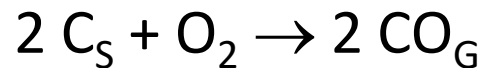
## Låt nu partikeln/droppen komma in i en het eldstad:



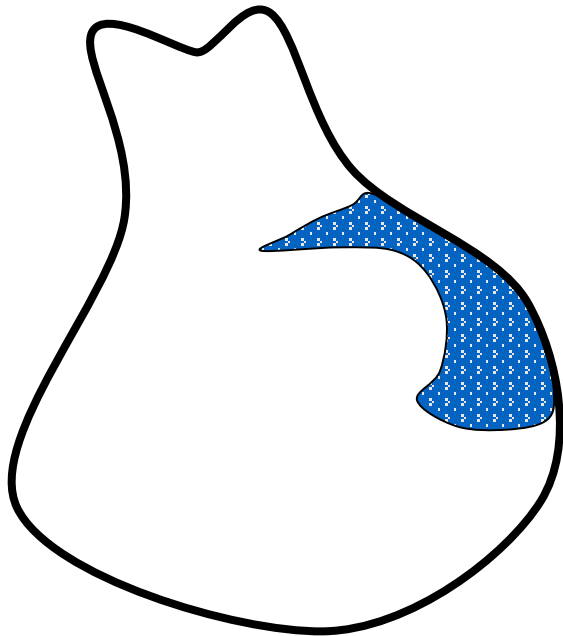
Då gasflamman slocknat kan syre från gasen komma åt partikelytan.

Detta gör att den heta charen antänds och förbränns i fast fas.

Detta sker i två steg – Först oxideras fast kol till CO och sedan förbränns CO i gasfas – Mycket förenklat och kvalitativt:



Låt nu partikeln/droppen komma in i en het eldstad:



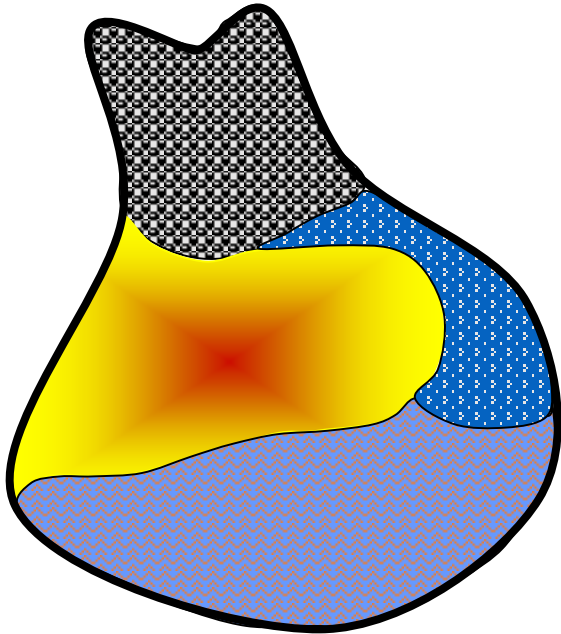
Till slut är det bara askan kvar...

## Slutsats av detta betraktelsesätt:

Detta betraktelsesätt säger oss alltså att förbränning sker i flera steg:

1. Torkning
2. Pyrolys
3. Gasförbränning
4. Fastfasförbränning

Däremot säger det inget om bränslets analys eller om dess värmevärde – saker som vi kunde förstå med hjälp av fotosyntesen...

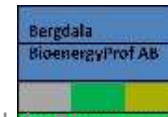


# Effektiv eldningsteknik 1:


Vad är egentligen ett bränsle (III)?

Björn Zethræus

*Professor i Bioenergiteknik/Förbränningsteknik*



## Se bränslet som brännbart material + föroreningar



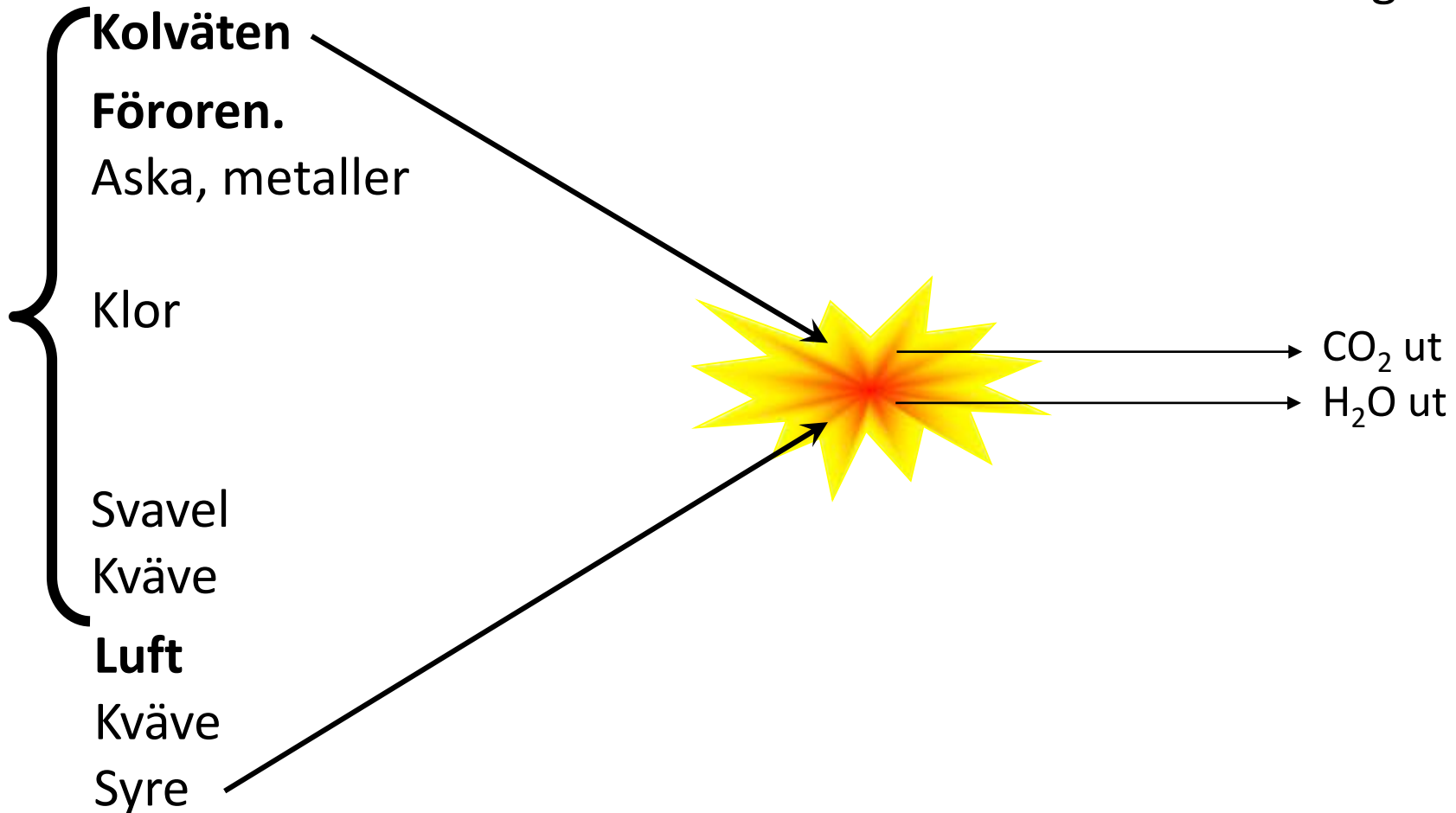
**Kolväten**  
**Föroren.**  
Aska, metaller

Klor

Svavel  
Kväve

## Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

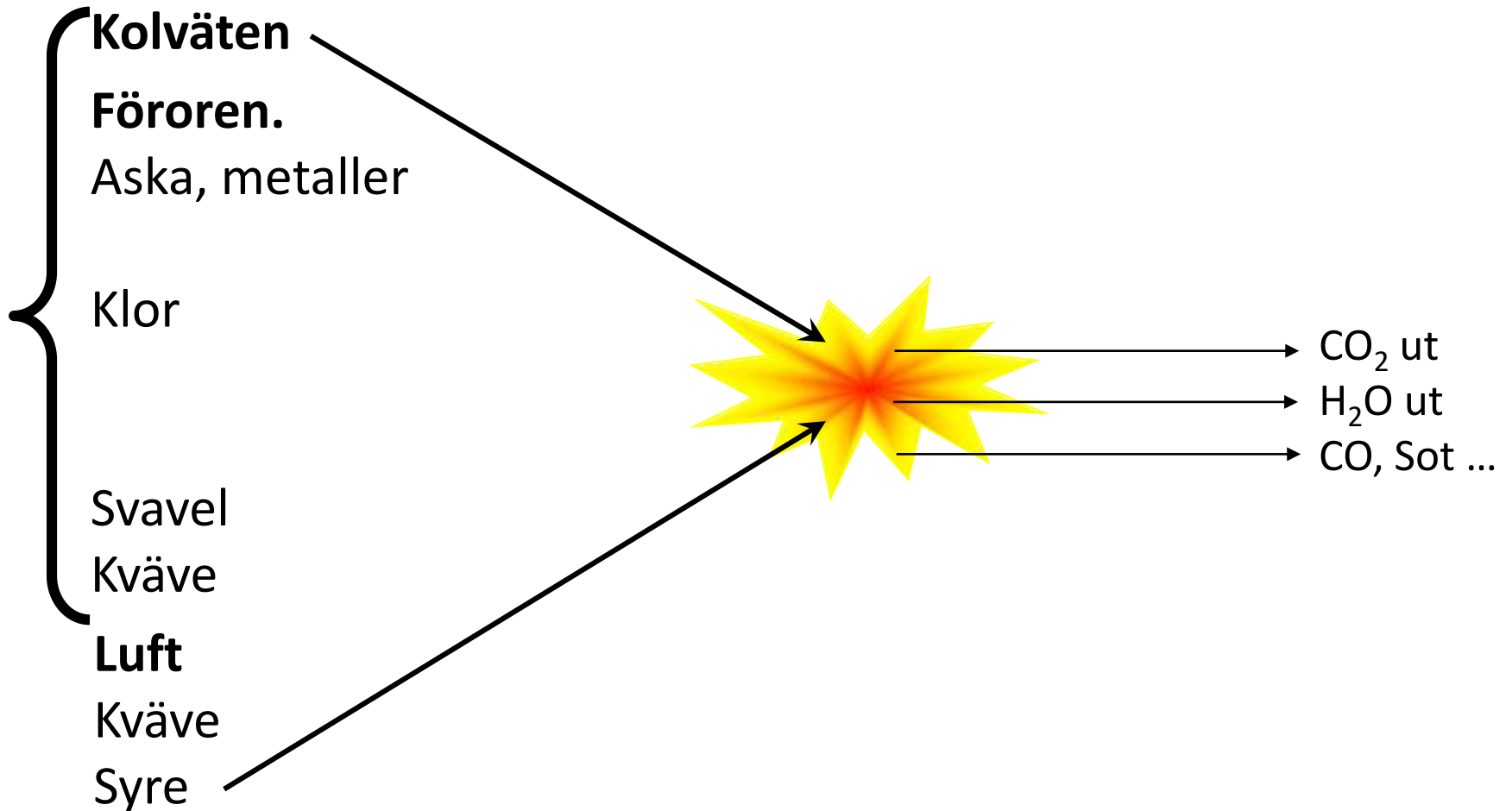
Målet är att bara bilda koldioxid och vattenånga





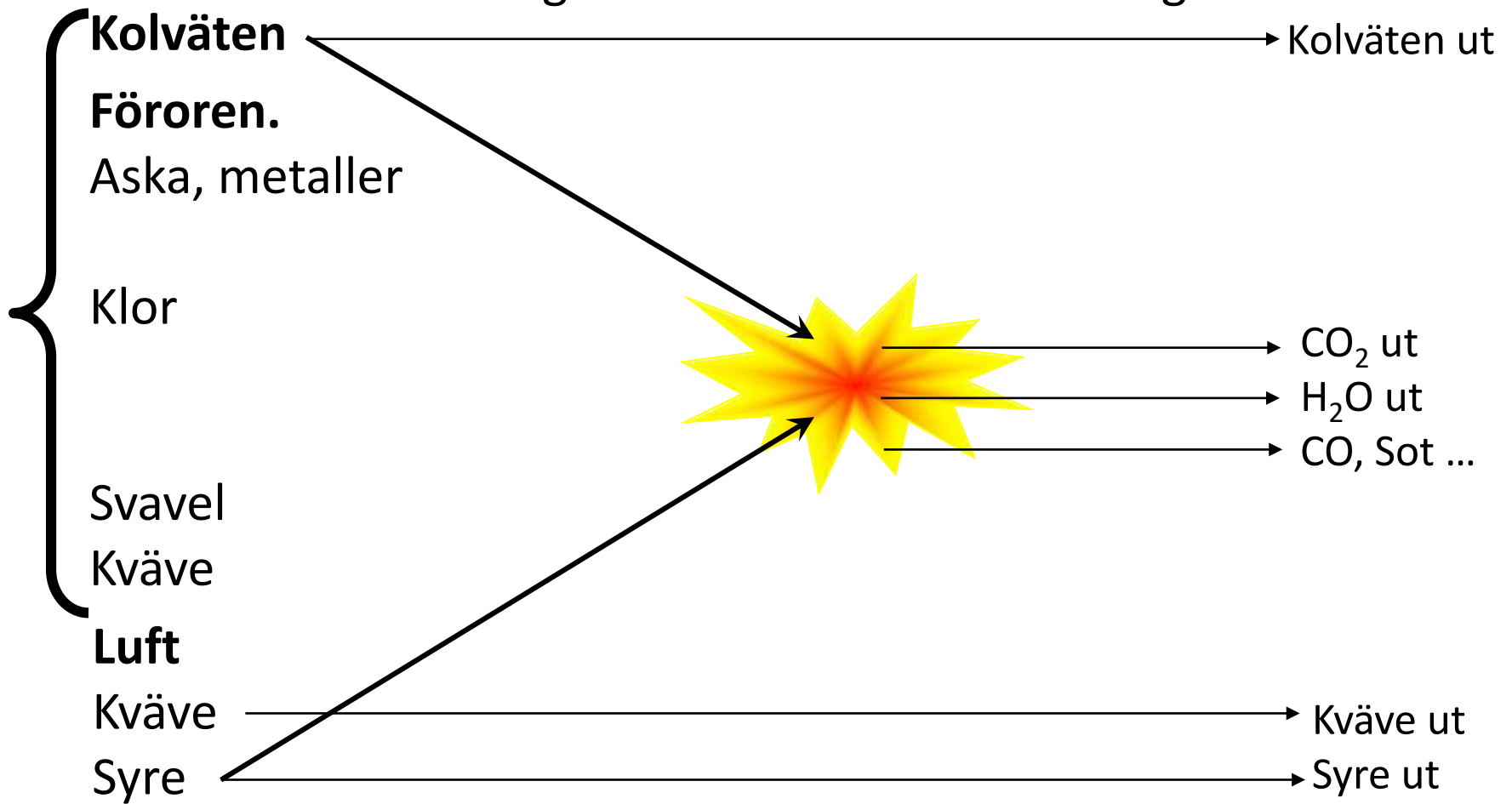
## Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Viss andel oförbränt måste man räkna med



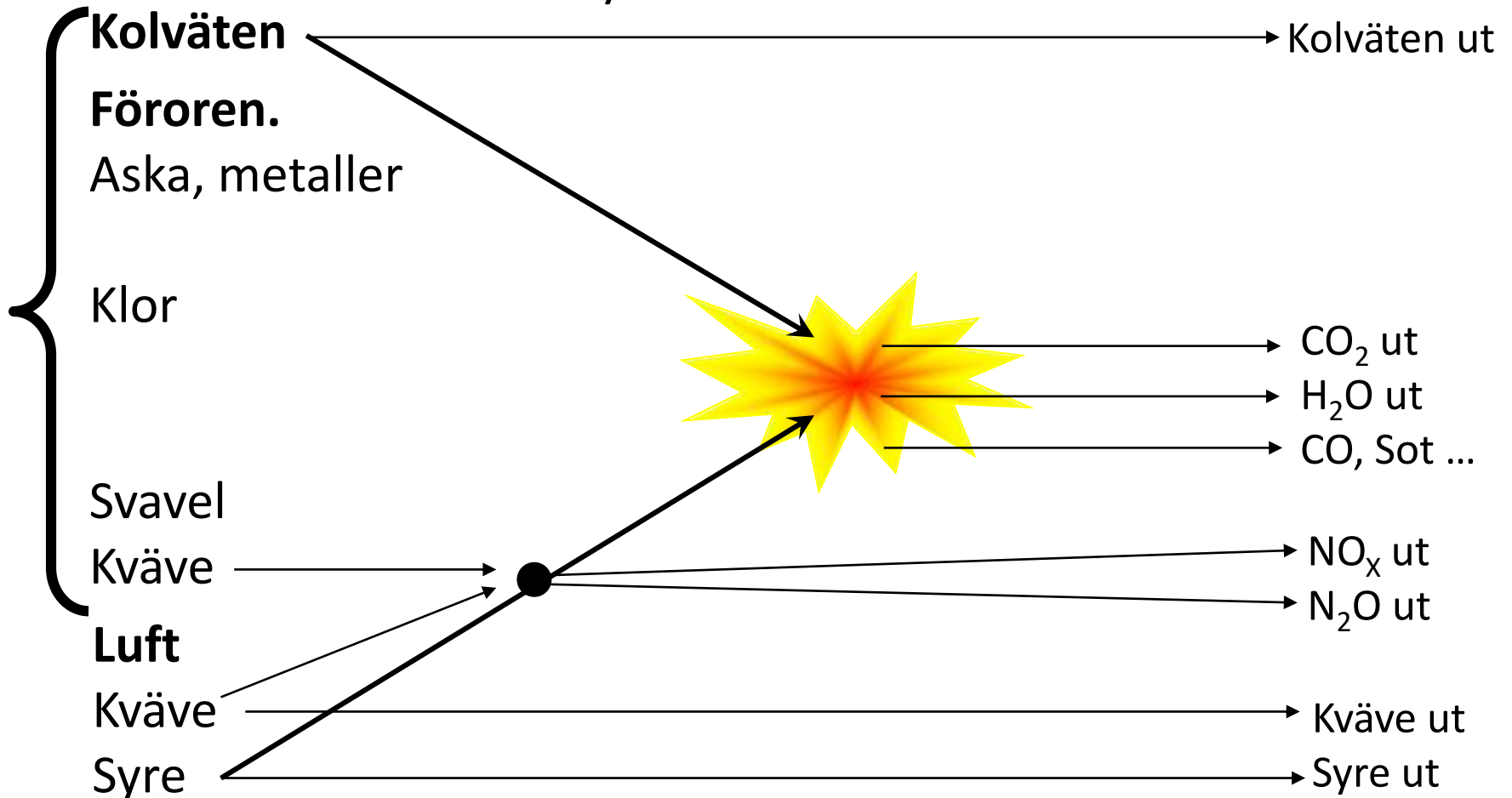
# Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Blandningen blir inte heller fullständig



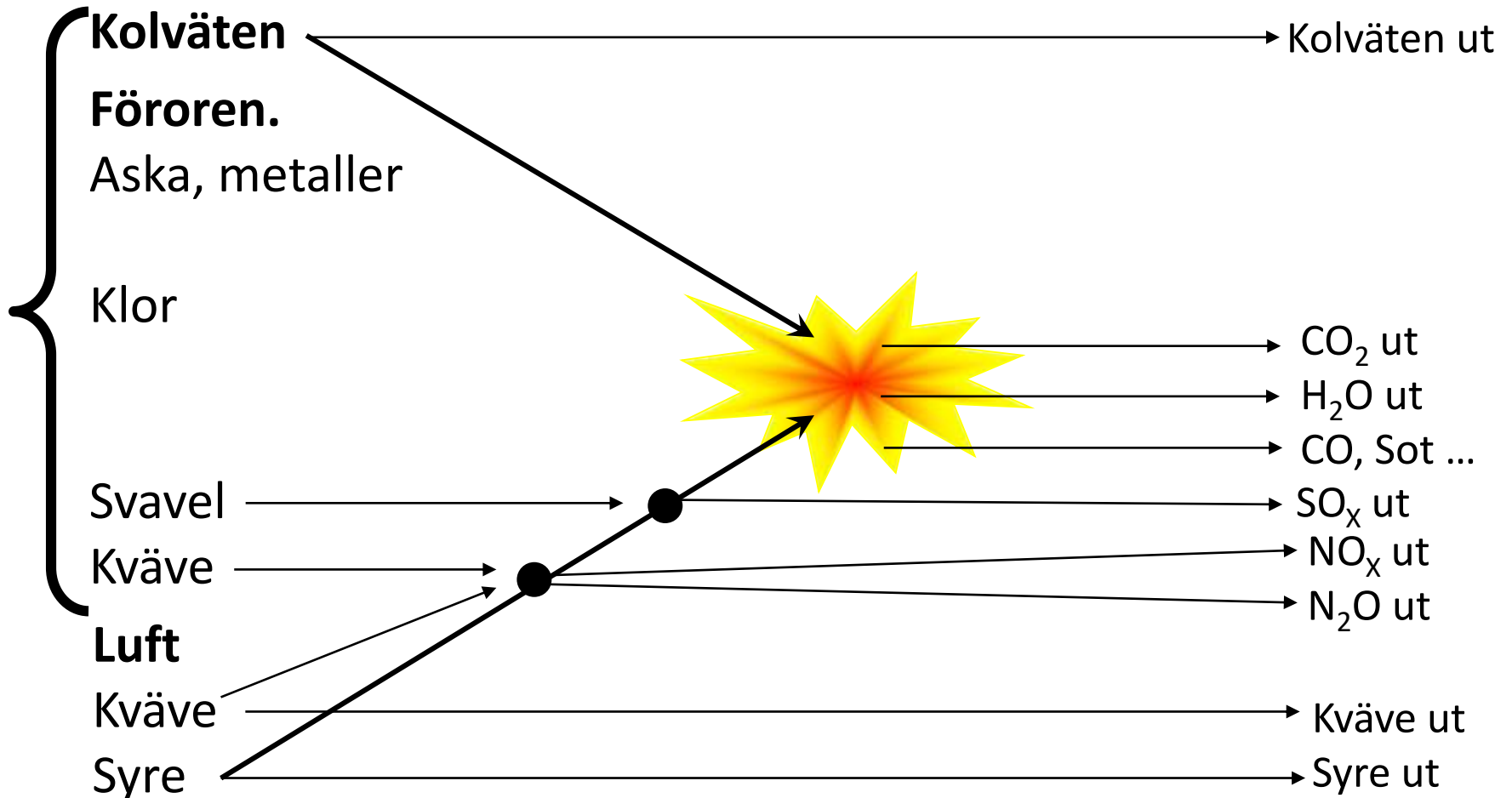
# Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Kväve och syre bildar en del kväveoxider



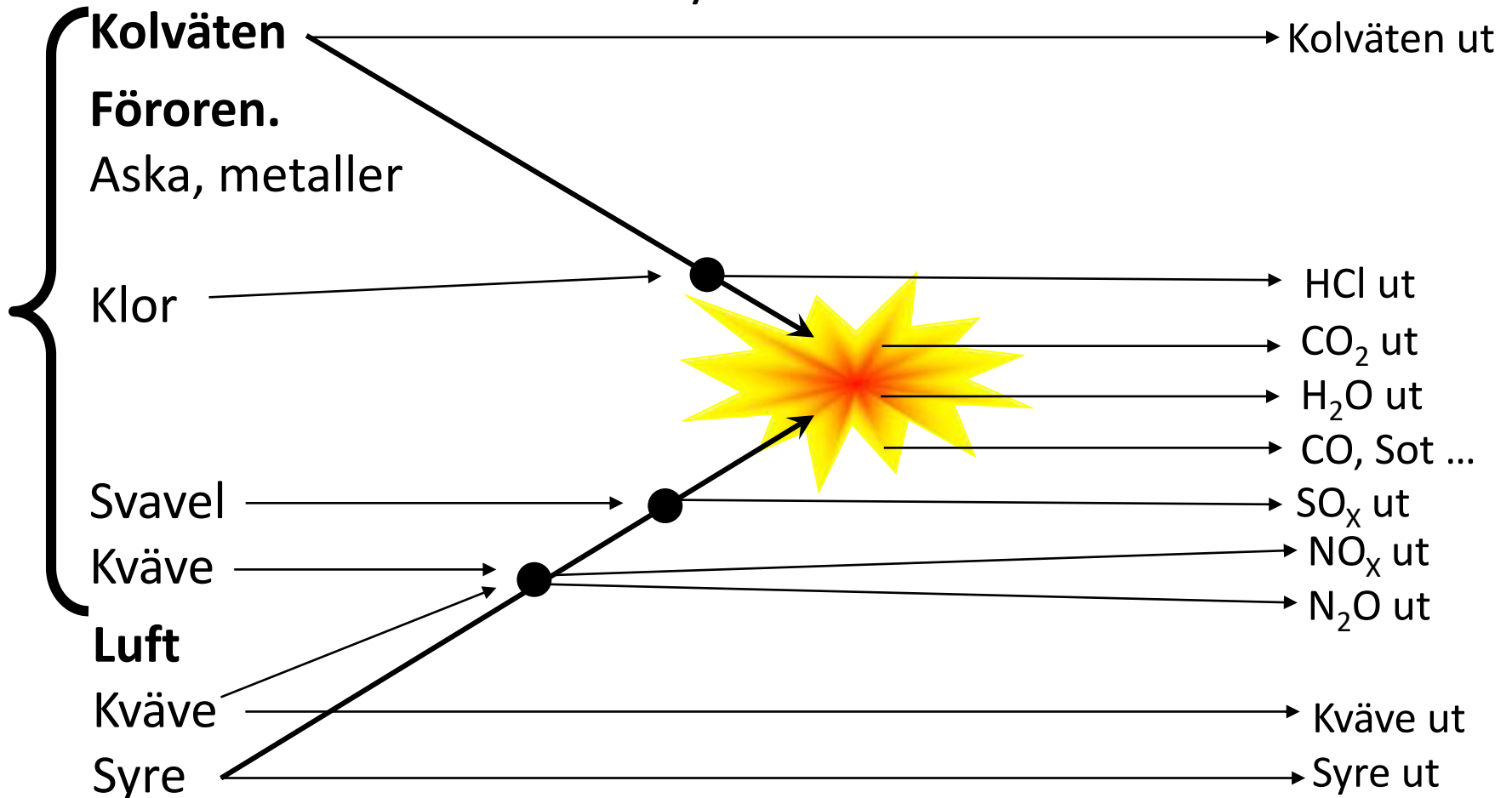
# Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Svavel bildar olika svaveloxider



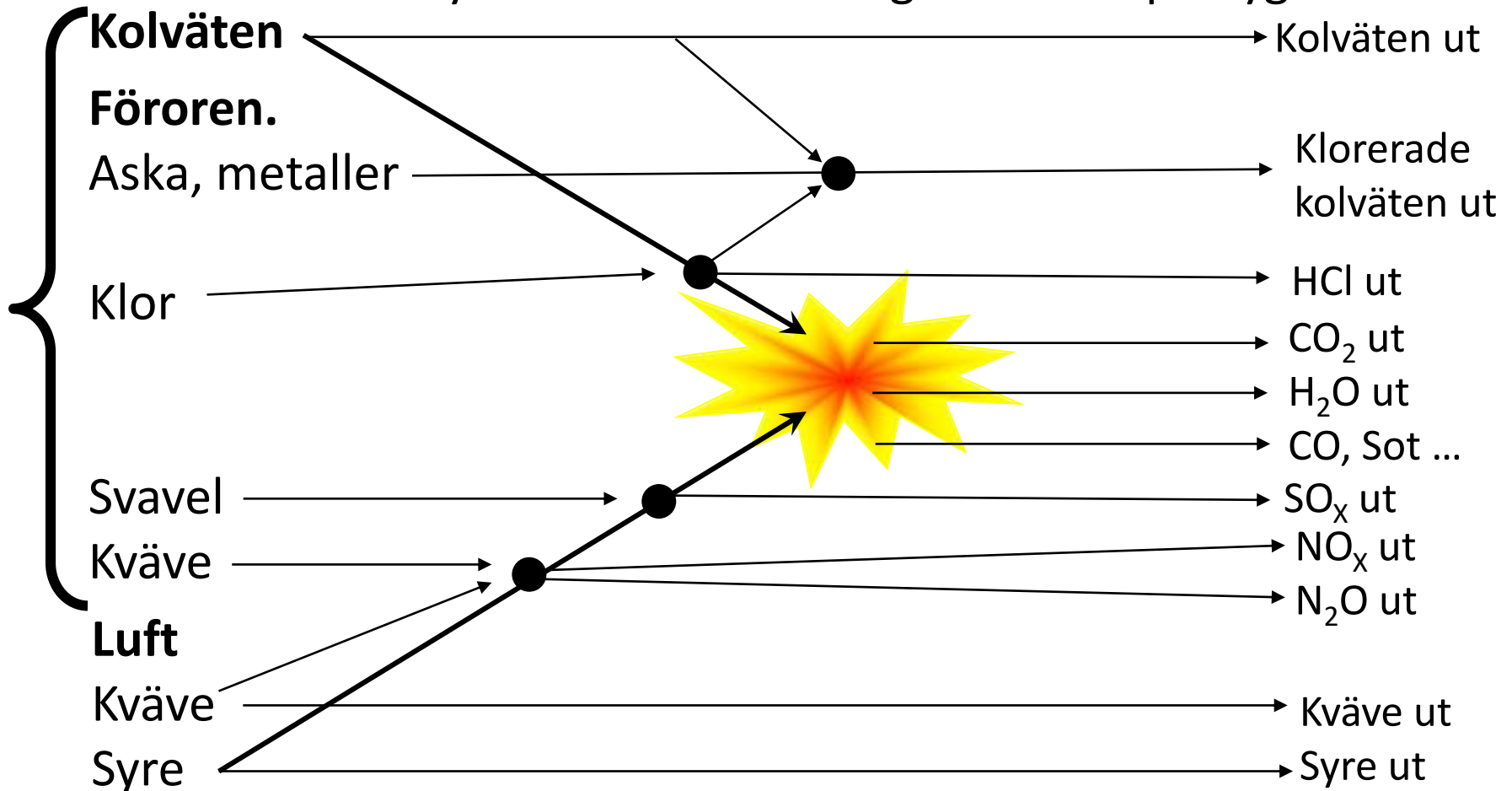
# Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Klor bildar saltsyra



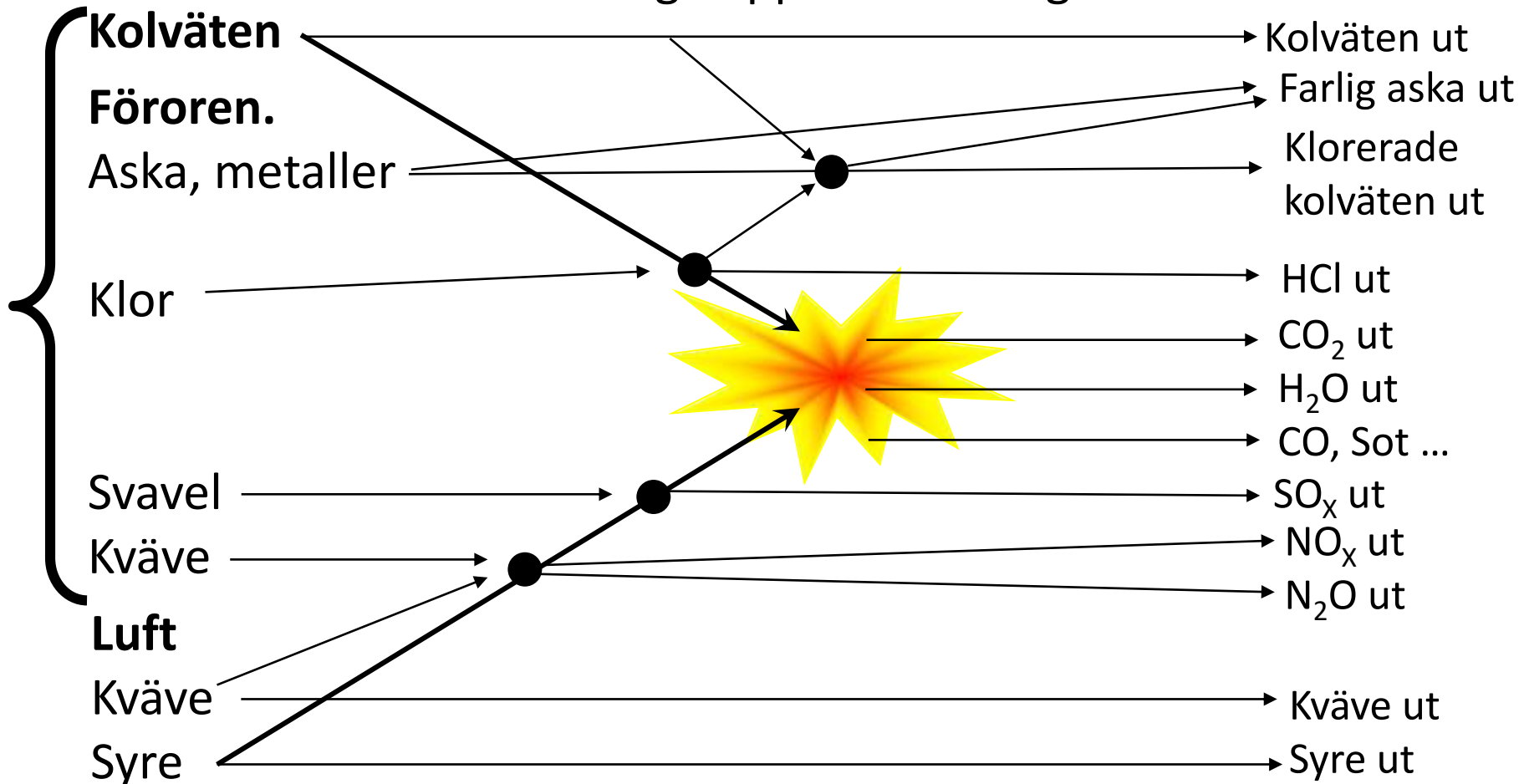
# Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Saltsyran kan i sin tur reagera vidare på flygaska



# Tillför luft i avsikt att elda upp bränslets kolväten

Och detta kan ge upphov till farlig aska



## Sett på detta vis kan man förstå att det kan bildas många föroreningar

Men man kan inte förstå bränslets analys och värmevärde.

Man kan inte heller förstå att förbränningen sker i flera steg.

**Man måste alltid betrakta bränslet ur dessa tre aspekter och använda den modell som för tillfället är mest anpassad till behovet.**