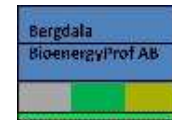


Effektiv eldningsteknik 4:

Introduktion till miljövänlig förbränning

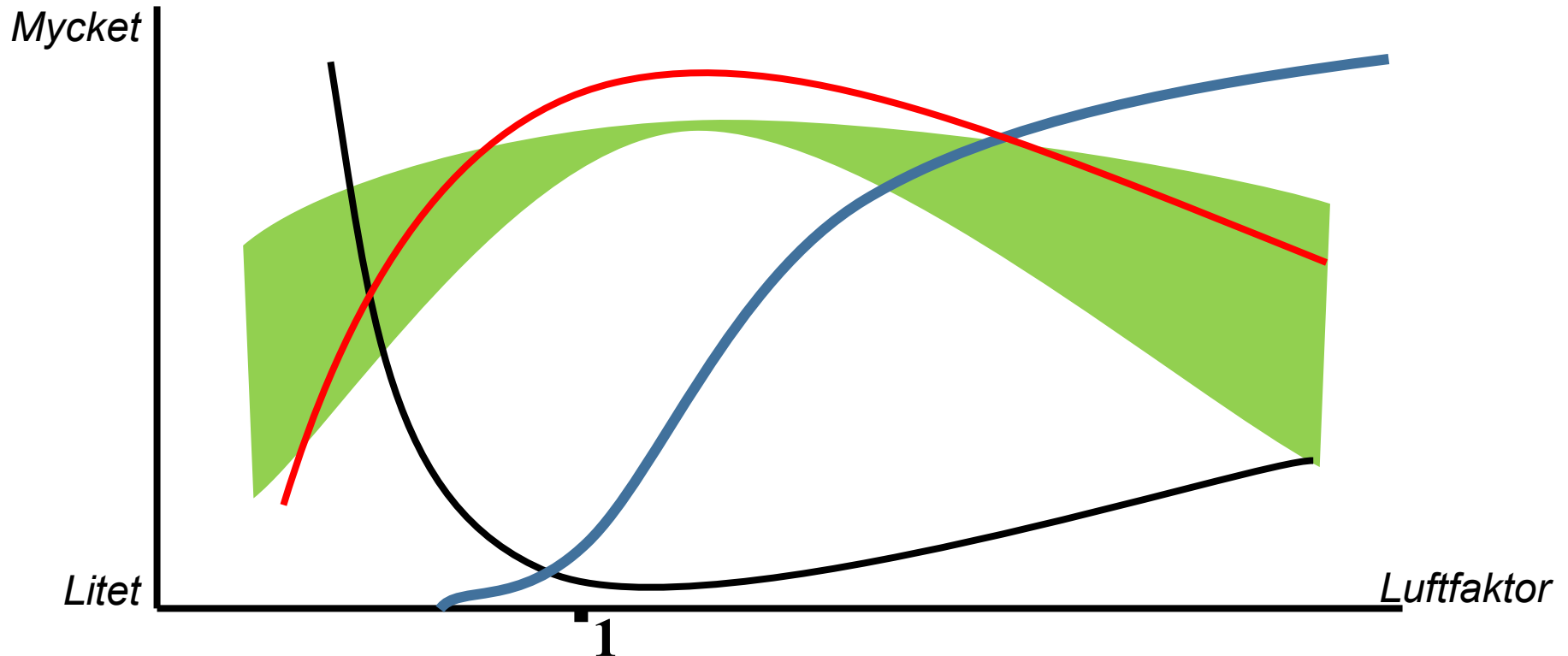
Björn Zethræus

Professor i Bioenergiteknik/Förbränningsteknik



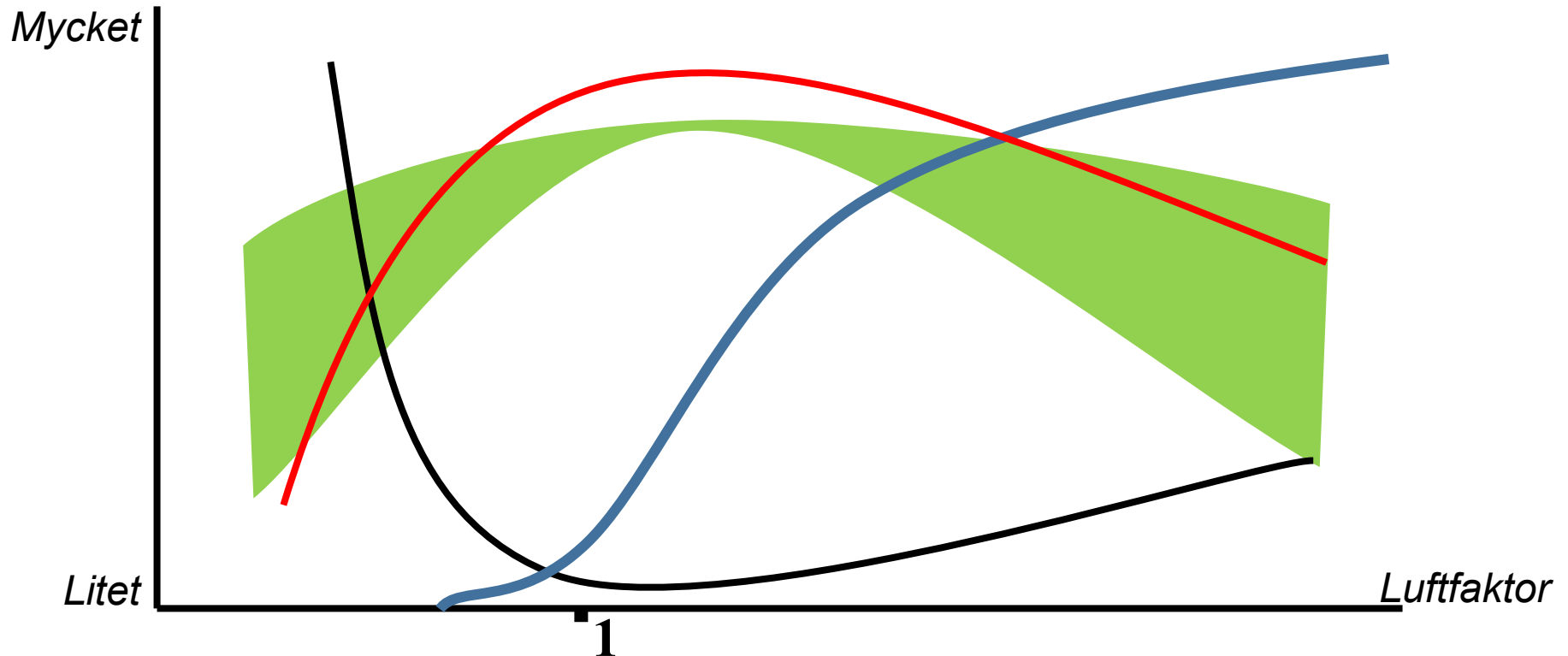
Maximal NO_x sammanfaller med maximal verkn.grad!!!

Så hur skall man göra för att minimera NO_x-utsläppen?



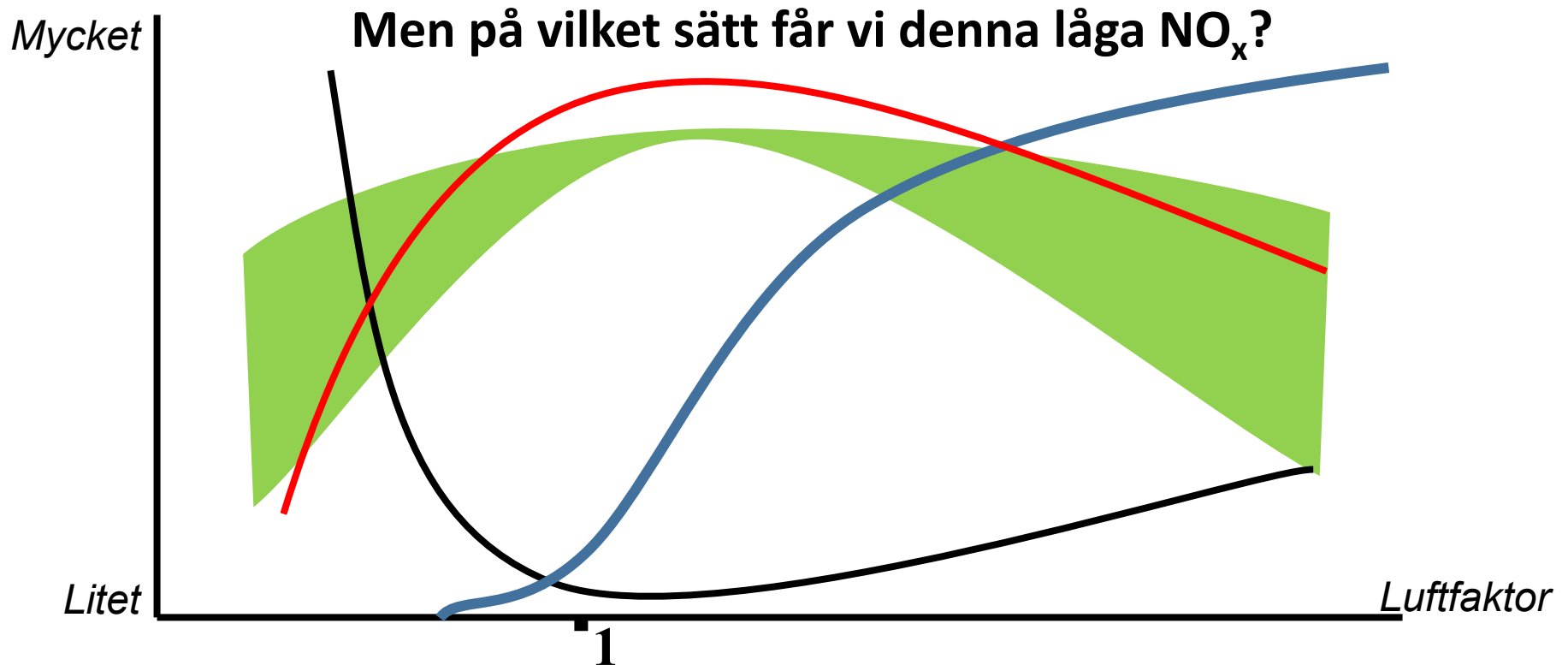
Maximal NO_x sammanfaller med maximal verkn.grad!!!

Med en tillräckligt låg luftfaktor kan man få låga NO_x-utsläpp – men till priset av mycket höga halter oförbränt och en låg verkningsgrad.



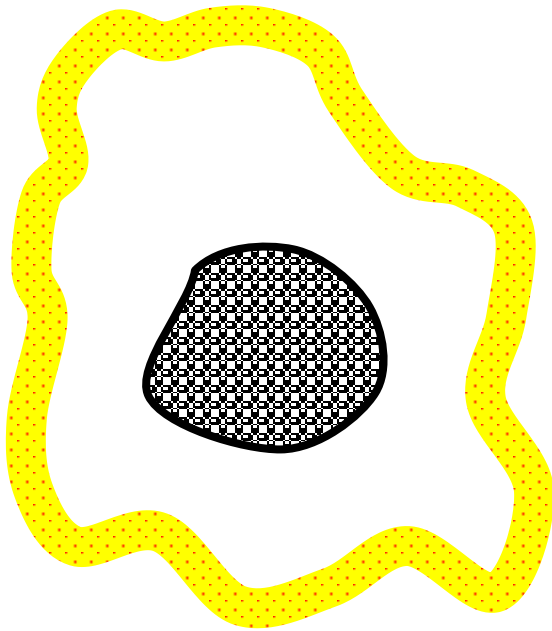
Maximal NO_x sammanfaller med maximal verkn.grad!!!

Med en tillräckligt låg luftfaktor kan man få låga NO_x-utsläpp – men till priset av mycket höga halter oförbränt och en låg verkningsgrad.



Kväveoxidbildning – Vad händer under pyrolysfasen?

Under pyrolysfasen kommer partikeln till ganska stor del att avge även sitt kväve.

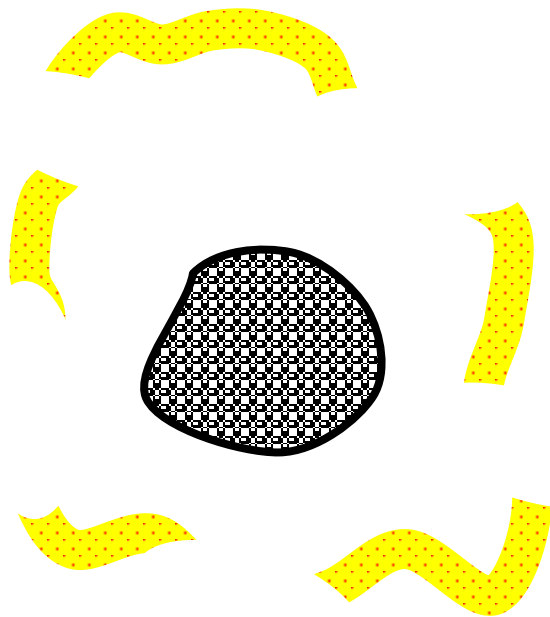


Vid luftöverskott omsluts partikeln av en flamma. Ammoniaken kan alltså inte komma ut i den omgivande rökgasen utan att passera genom flammen och oxideras till kväveoxid, åtminstone till stor del.

Men..

Kväveoxidbildning – Vad händer under pyrolysfasen?

Under pyrolysfasen kommer partikel till ganska stor del att avge även sitt kväve.

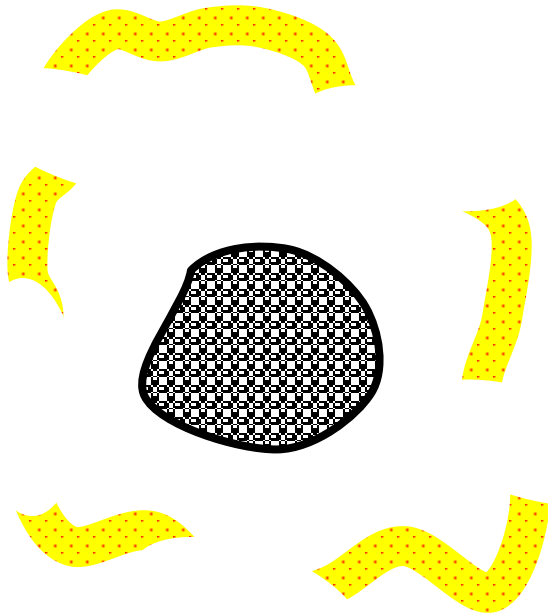


Vid luftöverskott omsluts partikeln av en flamma. Ammoniaken kan alltså inte komma ut i den omgivande rökgasen utan att passera genom flammen och oxideras till kväveoxid, åtminstone till stor del.

Men vid luftunderskott kommer flammen inte att omsluta hela partikeln, så det blir "hål" i flammen...

Kväveoxidbildning – Vad händer under pyrolysfasen?

Under pyrolysfasen kommer partikel till ganska stor del att avge även sitt kväve.

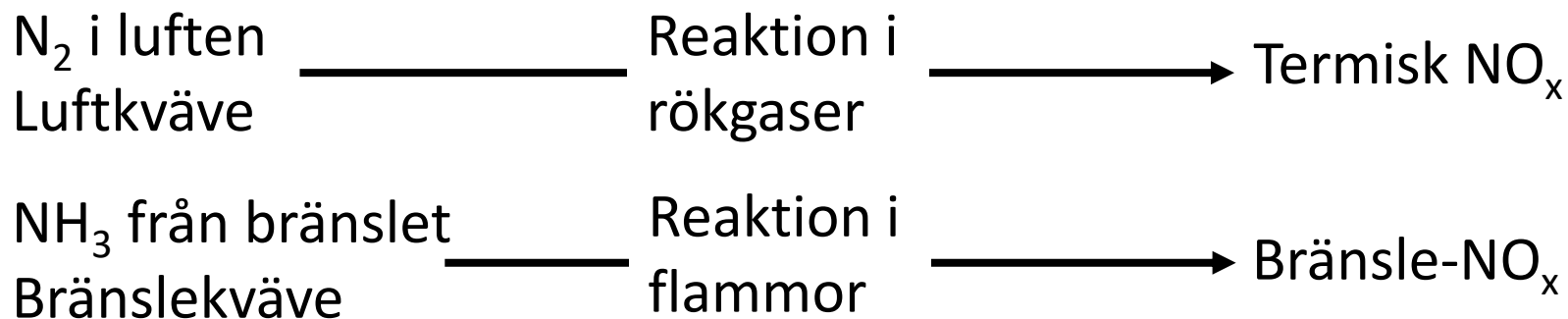


Genom dessa hål kan ammoniak slinka ut i de omgivande, syrefattiga gaserna.

Vad som nu händer är att man kan få en blandning av ammoniak och av kväveoxider i gasen utanför partikeln.

Kväveoxidbildning

Kväveoxid kan i praktiken bara bildas längs två vägar när man har försummat direkt-NO_x-vägen.



Av dessa två är det bränsle-NO_x mekanismen som för det mesta står för huvuddelen av kväveoxidbildningen.

Det är också bränsle-NO_x mekanismen som påverkas genom att man eldar vid luftunderskott.

Reduktion av kväveoxider efter förbränning

SNCR-teknik (Selective Non-Catalytic Reduction)

Tillsats av ammoniak (urea) reducerar NO_x till kvävgas och vatten vid cirka 900-1000 °C under tillräckligt lång tid och utan alltför mycket syre närvarande.

SCR-teknik (Selective Catalytic Reduction)

Tillsats av ammoniak reducerar NO_x till kvävgas och vatten vid cirka 400 °C genom att reaktionen snabbas upp med hjälp av en katalysator.

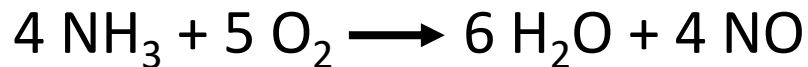
Reduktion av kväveoxider efter förbränning

I båda fallen sker samma totalreaktion, nämligen



dvs kväveoxid och ammoniak bildar vattenånga och kvävgas.

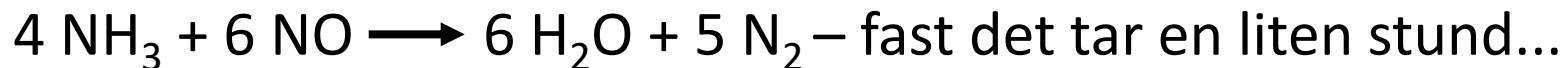
Om det finns för mycket syre närvarande vid hög temperatur sker också reaktionen



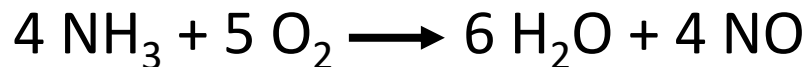
dvs överskottsammoniak kan bilda ny NO_x!!!

Reduktion av kväveoxider efter förbränning SNCR

Önskad reaktion:



Oönskad reaktion:



Första reaktionen är långsam vid temperaturer under ca 850 °C

Därför får ammoniakinjektion aldrig ske vid lägre temperatur

Den andra reaktionen blir snabb vid temperaturer över ca 1000 °C

Därför får ammoniakinjektion aldrig ske vid högre temperatur

Om det finns för mycket syre närvarande kommer den andra reaktionen att ske

Reduktion av kväveoxider direkt i eldstaden

Genom att elda understökiometriskt åstadkommer vi en gas, som innehåller **både** ammoniak (NH₃) och kväveoxider (NO_x).

OM:

Gasen får tid på sig (ca 2 sekunder vid 950 °C, 3-4 s vid 850 °C...)

Inget (eller bara litet) fritt syre finns närvarande

$$\text{NO}/\text{NH}_3 \approx 6/4 = 1.5$$

SÅ kan – rent teoretiskt –

All NO och all ammoniak som fanns med från början reduceras till bara kvävgas och vattenånga!!

Kväveoxidbildning totalt i eldstaden

OM all ammoniak och all kväveoxid som bildats nära partiklarna verkligen lyckas reagera fullständigt (så är det aldrig, men om...) så skulle hela bildningen av bränsle-NO_x vara neutraliserad och den enda kvarvarande mekanismen skulle vara termisk NO_x.

N₂ i luften
Luftkväve

Reaktion i
rökgaser

_____ → Termisk NO_x

~~NH₃ från bränslet
Bränslekväve~~

~~_____~~

~~Reaktion i
flammar~~

~~_____ → Bränsle-NO_x~~

Kväveoxidbildning totalt i eldstaden

OM all ammoniak och all kväveoxid som bildats nära partiklarna verkligen lyckas reagera fullständigt (så är det aldrig, men om...) så skulle hela bildningen av bränsle-NO_x vara neutraliserad och den enda kvarvarande mekanismen skulle vara termisk NO_x.

N₂ i luften
Luftkväve

Reaktion i
rökgaser

_____→

Termisk NO_x

~~NH₃ från bränslet
Bränslekväve~~

~~_____~~

~~Reaktion i
flammar~~

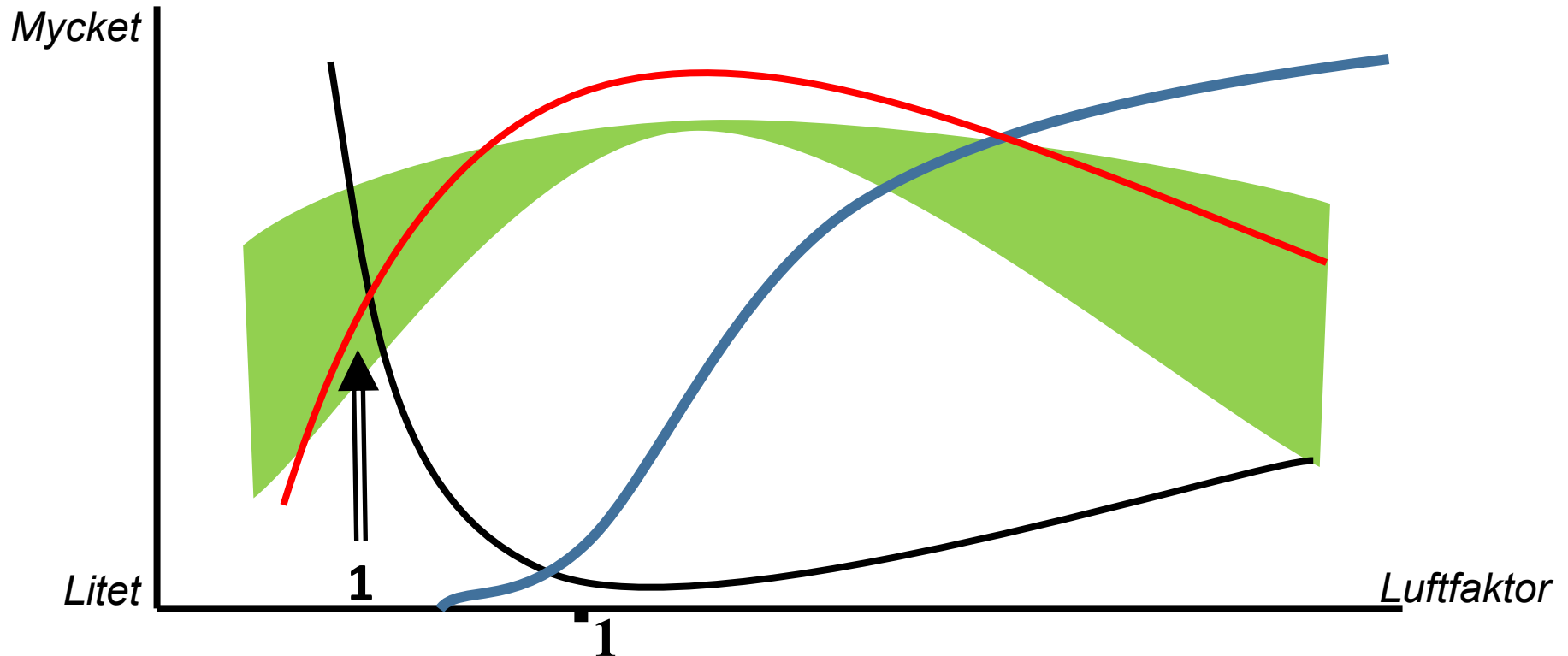
~~_____→~~

~~Bränsle-NO_x~~

Och för att kontrollera den termiska NO_x'en behöver man bara styra temperaturen i utbränningszonen.

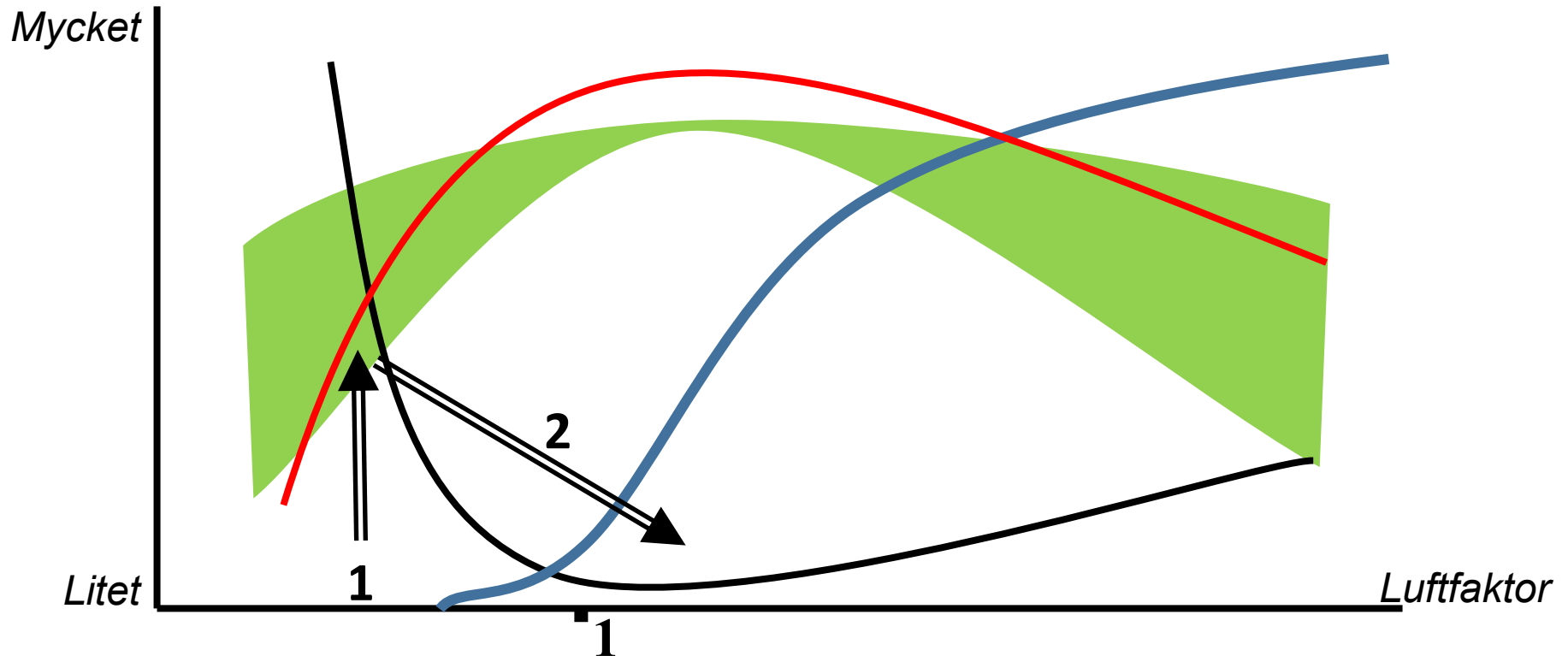
Hela strategin för stegförbränning blir alltså:

Elda vid låg luftfaktor för att bilda en blandning av NO och NH₃ i primärzonen.



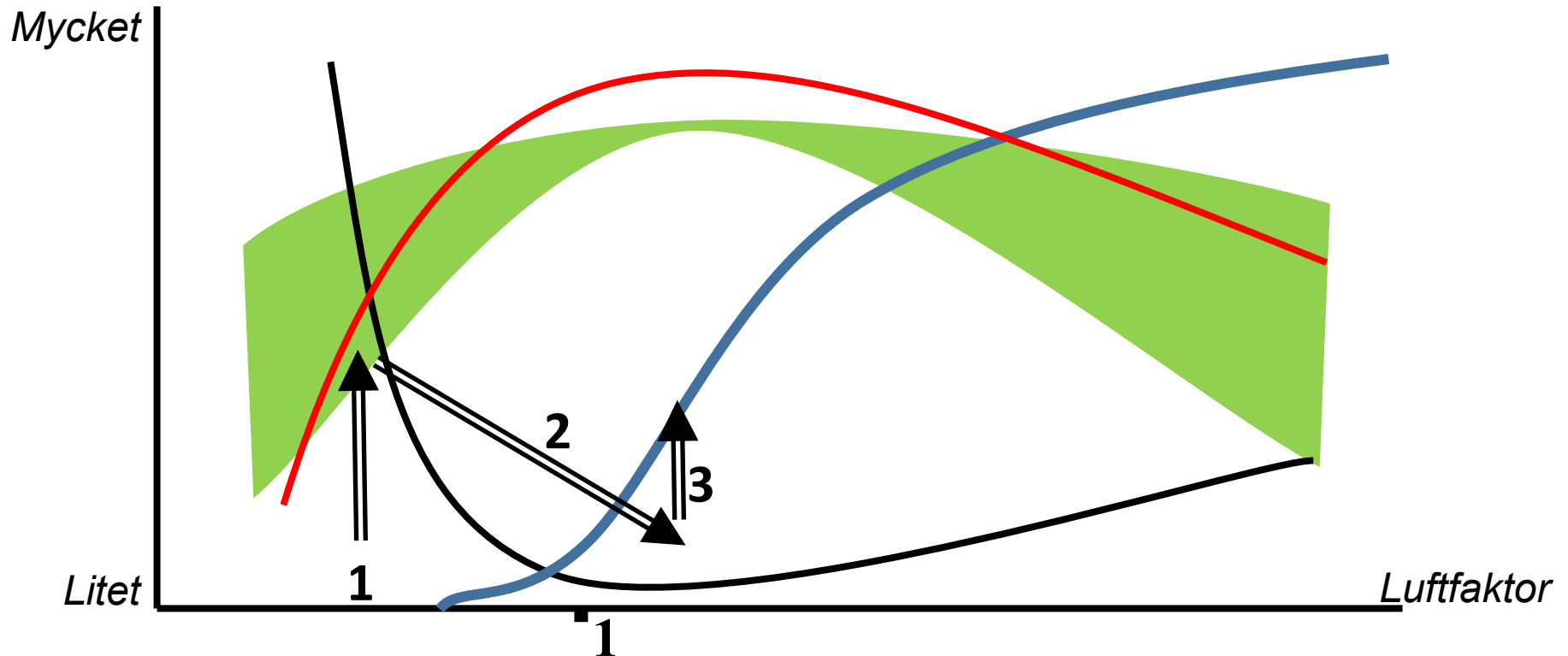
Hela strategin för stegförbränning blir alltså:

Genom att hålla rätt temperatur i primärzonen och låta gasen vara kvar tillräckligt länge kommer NO-halten att avta tills gasen kommit till sekundärzonen.



Hela strategin för stegförbränning blir alltså:

I ett tredje steg gäller det att slutförbränna gasen i sekundärzonen vid en så låg temperatur att bara väldigt litet ny, termisk, NO_x bildas.



Hela strategin för stegförbränning blir alltså:

Med en rätt inställd stegförbränning kan man ta bort en mycket stor del av kväveoxiderna utan att behöva betala för ammoniak.

