

Kend Kemien 2

1. udgave, 2. oplag, 2007

© 2007 by Gyldendalske Boghandel,

Nordisk Forlag A/S, København og forfatterne.

Faglig redaktør: Henrik Parbo

Forlagsredaktion: Søren Lundberg

Grafisk tilrettelæggelse, omslag og illustrationer: 2Krogh AS

Teksten er sat med 11/14 Charlotte Book

Trykt hos Narayana Press, Gylling

Printed in Denmark 2007

ISBN: 978-87-02-02669-6

Kopiering fra denne bog må kun finde sted på institutioner, der har indgået aftale med COPY-DAN, og kun inden for de i aftalen nævnte rammer.

[www.gyldendal.dk/uddannelse](http://www.gyldendal.dk/uddannelse)

Billedliste:

Omslag: Scanpix/Stockfood

Scanpix/Corbis/Craig Aurness s. 10, 119

Søren Lundberg s. 11 ø., 29 ø., 29 m., 40, 43,

51 n., 59, 79, 82, 107, 108, 110 n., 111, 113, 115

m.f., 115 n., 118, 120, 122, 124, 125, 128, 131,

138 ø., 141 m., 186 n., 190, 193 n., 236 n., 253

Foci/SPL s. 11 n., 38 n.v., 146 n., 151, 187, 188,

192, 194

Anders Bach s. 12, 13, 16, 31, 32 n., 35, 45,

48 ø., 49 n., 50, 61, 62, 65 n., 67, 71, 72, 74,

75, 105 n., 132, 142, 150, 152, 155 n., 157 n.,

158 n., 162, 163 ø., 165, 166, 167, 175, 185 ø.,

191 n., 193 ø., 193 m., 195 n., 200, 206, 208,

209, 210, 211, 217, 218, 222

Thomas Kjerstein s. 14 ø.

Michael Nissen s. 14 n., 15 ø.

Thomas Schreiner s. 15 n.

Morsø s. 17

Polfoto/PictureArts/Ian Lawrence s. 18

David Morris s. 20

Murali Haran s. 21

Scanpix/Corbis/Bettmann s. 22 ø., 146 ø.,

177 n., 203, 227

Scanpix/Bax Lindhardt s. 22 n.

Per Søby Jensen s. 23 ø.

Scanpix/Corbis/Chris Lisle s. 23 n.

Scanpix/BAM/Fie Johansen s. 24

Scanpix/Biofoto/Anders Tvevad s. 26 ø.

DR s. 26 m., 26 n.

Scanpix/BAM/David Trood s. 30 ø.

Scanpix/Luis Gene s. 30 n.

Scanpix/AFP s. 32 ø.

Scanpix/Corbis s. 36, 37, 38 n.v., 38 m.v., 136,

155 ø., 156, 184, 197 n., 201 ø., 229, 242 ø.

Scanpix/Corbis/William Gottlieb s. 38 ø.

Scanpix/Corbis/Keren Su s. 46

Gyldendals billedbibliotek s. 48 n., 66, 91

Kemira Pigments s. 49 ø

Scanpix/AFP s. 51 ø., 65 ø.

Scanpix/Corbis/Gianni Dagli Orti s. 52

Scanpix/Corbis/Peter Turnley s. 55

Scanpix/EPA s. 60

Pfizer s. 64

Polfoto/Finn Frandsen s. 69

Ammoniakfabrik s. 70

Torben Hoffmann s. 73, 84, 85, 87 n., 93 ø.,

98, 126 n., 144, 158 ø., 172, 176

Scanpix/BAM/David Trod s. 77

Scanpix/Corbis/Charles O'Rear s. 80

Scanpix/Biofoto/John Nielsen s. 81 ø.

Scanpix/Corbis/Bojan Breclj s. 81 n.

Scanpix/Reuters s. 87 ø., 109 n.v.

Scanpix/Biofoto/Johnny Madsen s. 88

Scanpix/Corbis/Natalie Fobes s. 89

Scanpix/Corbis/Tibor Bogнар s. 93 n.

Martyband.co.uk s. 94

Scanpix/Claus Bjørn Larsen s. 96

Polfoto/Henrik Schutt s. 97

Scanpix/Bjarke Ørsted s. 102

Scanpix/Martin Dam Kristensen s. 105 ø.

Scanpix/Stockfood s. 106, 114, 116, 117 v., 137,

236, 237, 239, 242 n., 248

Scanpix/BAM/Curt Carnemark s. 109 ø.

Scanpix/BAM/Jan Djønner 109 n.h.

Polfoto/Claus Lunde s. 110 ø.

Scanpix/Jakob Boserup s. 115 ø.

Scanpix/Brian Bergmann s. 117 h.

Thorkild Jensen s. 126 ø.

Scanpix/Bax Lindhardt s. 127

Polfoto/AP/John Duricka s. 129

Scanpix/BAM/Morten Nilsson s. 135

BilledCD s. 29, 138 n., 141 n.v., 147

Select s. 141 h.

Scanpix/Corbis/Bettmann s. 151

Scanpix/Corbis/Charles O'Rear s. 157 ø.

Lars Boesgaard s. 159

Scanpix/Corbis/Michael Busselle s. 160

Scanpix/Bo Tornvig s. 163 n.v.

Universitet II i Bordeaux. Ønologisk Fakultet Uni-

versité de Bordeaux (II). Faculté de oenologie

s. 163 n.h.

Scanpix/Biofoto/Gert S. Laursen s. 177 ø.

Scanpix/BAM/Tomas Bertelsen s. 178

Scanpix/Werner Forman s. 179 ø.v.

Scanpix/Corbis/Mike Grandmaison s. 179 ø.h.

Scanpix/BAM/Heine Pedersen s. 179 n.

Kirsten Torre Eriksen s. 181 ø.

Scanpix/Corbis/Alison Wright s. 181 n.

Scanpix/Biofoto/Lars Havn Eriksen 182 ø.

Scanpix s. 182 n.

Polfoto/AP/Louis Lanzano s. 183

Ullstein Bild s. 185 n.

Scanpix/Biofoto/Jens Bursell s. 186 ø.

Scanpix/Corbis/DK Limited s. 191 ø.

Polfoto s. 195 ø.

Biofoto/Karsten Schnack s. 196

Ullstein bild – KPA/HIP/Sarah Fabian-Badd

s. 197 ø.v.

Scanpix/Corbis/William Whitehurst s. 197 m.

Scanpix/Corbis/Mark Hanauer s. 201 n.

Polfoto/Jacob Ehrbahn s. 202 ø.

Samsung s. 202 n.

Scanpix/Corbis/Car culture s. 204

Nycomed s. 207, 260, 267

Scanpix/Corbis/William Schick s. 212

Scanpix/Corbis/Mark Hanauer s. 214

Scanpix/AFP s. 216 ø.

Scanpix/Lars Gejl s. 216 n.

BASF Corporate Archives, Ludwigshafen a.

Rh./Germany 220 ø., 223

Scanpix/Corbis s. 220 v.

Scanpix/Corbis/Austrian Archives s. 220 h.

Polfoto/Thomas Borberg s. 224

Scanpix/Corbis/Raymond Reuter s. 225

Scanpix/Minden Pictures s. 230 ø.

Scanpix/age fotostock s. 230 n.

Henrik Schurmann s. 231

CDanmark s. 233

Scanpix/Johanna Hanno s. 234

Polfoto/STEVE ALLEN, Brand X Pictures s. 240

Scanpix/Corbis/Medisca 241 ø.

Science Museum s. 241 n.

Scanpix/Corbis/Hal Horwitz s. 243 ø.

Scanpix/Katrine Damkjær s. 243 n.

Scanpix/BAM/Curt Carnemark s. 244 ø.

Scanpix/Elvig Hansen s. 244 n.

Arne W. Jensen s. 245

Scanpix/Jakob Dall s. 249

NOVO s. 205, 252

Polfoto/DPA s. 254

Scanpix/Biofoto/Mads Jensen s. 258

Scanpix/Thomas Vilhelm Jørgensen s. 259

Bayer HealthCare AG s. 260 ø.

Scanpix/Nils Meilvang s. 264 ø.

Scanpix/Corbis/David Reed s. 264 n.

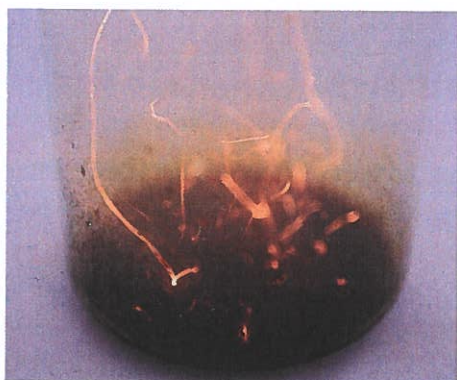
Polfoto/CONNOR GARY, Index Stock s. 268

BENDIX TRADING s. 270 n.

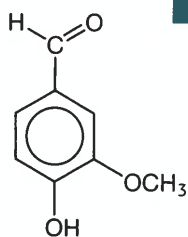
Forlaget har forsøgt at finde frem til alle rettig-  
hedshavere i forbindelse med brug af billeder.  
Skulle enkelte mangle, vil de ved henvendelse til  
forlaget blive betalt, som om aftale var indgået.

vin aigre (fr.): sur vin  
eddike stammer opr. fra det latinske  
acere: at være sur

Demo



Med kaliumdichromat sker der en kraftig  
oxidation af ethanol.



vanillin, et aromatisk  
aldehyd og en phenol

Tænk selv

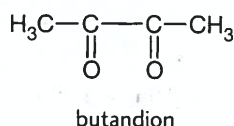
Hvilket stof dannes ved en kraftig oxidation af 3-methylbutan-1-ol?

Vin, der har ligget på egetræsfade, har ofte en smag af vanille.  
Det skyldes ekstraktion af vanillin fra træets polyphenoler.

Der er meget få *ketoner* i vin. Butandion dannes under den  
malolaktiske gæring og er et vigtigt aromastof i visse hvidvine.  
Blot 2-4 mg/L giver hvidvin en karakteristisk smag af friskt  
smør og nødder.

Tænk selv

Hvis butandion skal fremstilles ved oxidation af en alkohol, hvilken  
alkohol skal der så vælges? Begrund svaret.



*Estere*

Som tidligere omtalt giver de ikke-flygtige syrer vinen en frisk  
smag, hvilket gør den til en god ledsager til mad. Men duften  
af blomster og smagen af bær og frugt skyldes ofte *estere*, der

## Aldehyder og ketoner

Når en alkohol oxideres, fjernes et H-atom fra hydroxygrup-  
pen og et H-atom fra det hydroxybærende C-atom. Ved oxida-  
tion af en primær alkohol dannes et *aldehyd*. Ved oxidation af  
en sekundær alkohol dannes en *keton*. Både aldehyder og ke-  
toner indeholder carbonylgruppen,  $>C=O$ .

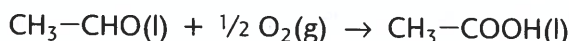
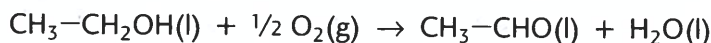
### Oxidation af propan-2-ol

I en varm, mørkerød opløsning af kaliumdichromat i halvkoncen-  
treret svovlsyre tilsættes propan-2-ol dråbevis. Eksperimentet  
udføres i dæmpet belysning.

Efter oxidationen af alkoholen fortyndes reaktionsblandingen  
kraftigt med vand, og opløsningens farve iagttages.

Der findes meget få aldehyder i vin. De *reduceres* let under al-  
koholgæringen eller reagerer med den sulfit, der tilsættes  
under vinfremstillingen. Ethanal har en ubehagelig, stikkende  
lugt, og mere end 100 mg/L er tegn på, at der har været pro-  
blemer med fremstillingen af vinen. Under gæringen reduce-  
res ethanal *nemlig* til ethanol.

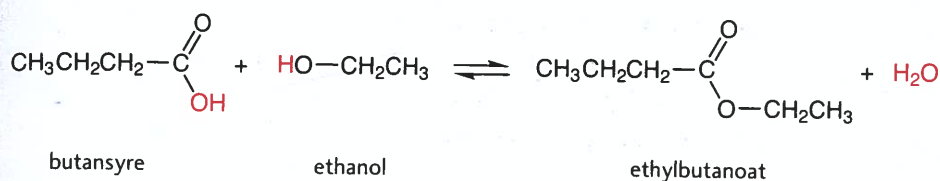
Når vin får *tilført* for meget dioxygen, bliver den til vin-  
eddike. Ethanal er et mellemprodukt under oxidationen af  
ethanol til ethansyre



findes i vinen. Nogle af disse forbindelser stammer fra vindruerne, men de fleste dannes under gæringen.

En ester kan fremstilles ved en kondensationsreaktion mellem en carboxylsyre og en alkohol. Ved den alkoholiske gæring dannes en stribe forskellige alkoholer og carboxylsyrer. Efterfølgende dannes et stort antal forskellige estere i vinen.

Nogle af disse er ethylestere, fx ethylbutanoat, der dufter af ananas



Forsøg med isotopen  $^{18}\text{O}$  i alkoholen viser, at alkoholens oxygenatom genfindes i esteren. Reaktionen er katalyseret af et enzym.

### Esterdannelse

I et stort reagensglas hældes lige store mængder af butansyre og ethanol. Blandingen fordeles på to glas, og der tilsættes koncentreret svovlsyre til det ene glas.

Glassene anbringes i varmt vand, og efter nogen tid undersøges blandingen for ester, der har en karakteristisk duft.

Vin indeholder også mange estere af ethansyre, der er dannet ved reaktion mellem en af de højere alkoholer og ethansyre. Mere end 160 estere er blevet identificeret i vin, men kun få af dem i en koncentration, som vi kan sanse.

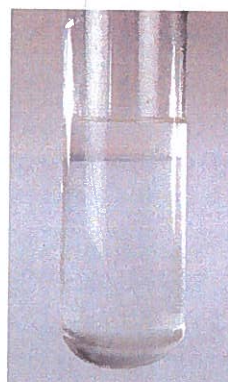
Skriv reaktionsskemaet med sammentrukne strukturformler for reaktionen mellem ethansyre og 2-methylbutan-1-ol.

På grund af esternes lave kogepunkter er de flygtige og smutter hurtigt op i næsens lugtepitel, når vi får dem ind i munden sammen med vinen.

Esterne, der udvikles fra forskellige gærstammer, er nogenlunde de samme, men deres indbyrdes mængdeforhold er forskellige. Derfor har gærstammerne stor betydning for den færdige vins aromaprofil. I Danmark fremstilles kulturgær til nogle af verdens fornemste vine.

Ved lagring på fad omdannes estererne, og vinen kommer til at fremstå mere harmonisk. På den måde udvikler vinen sin egen bouquet.

### Demo



Estere er ikke blandbare med vand. På billedet ses et væskelag af en ester oven på en vandig opløsning.

### Tænk selv

www

Download ▶ Eksperimenter ▶ K2-6 ▶  
Frugtduftende estere

Tabel 6-4 Aromaer

Aroma	Stof	Kogepunkt °C	Koncentration g/L
Marcipan	3-methylbutan-1-ol	128	50-160
Marcipan	2-methylbutan-1-ol	127	13-50
Blomster	benzylalkohol	205	0,1-0,4
Bagt brød	2-phenyl-3-hydroxybutanal	-	0,2-5
Blomster	butylethanoat	98	0,2
Ananas	ethylbutanoat	122	0,2
Jordbær	ethylhexanoat	168	0,1-2
Banan	2-methylbutylethanoat	143	-
Blomster	ethyloctanoat	208	0,2-1,5
Harsk	hexansyre	205	1-3

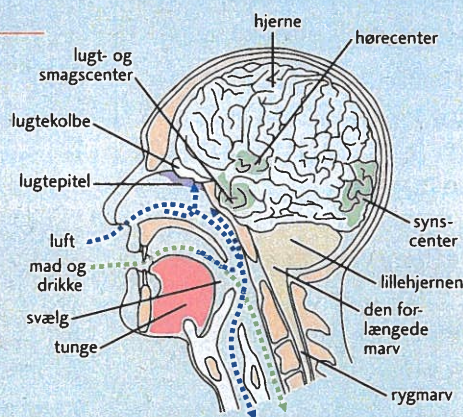
## Lugt og smag

Mens smagsstoffer er ikke-flygtige og kan opløses i vand, er duftstoffer flygtige og mere hydrofobe. Det er dog de færreste smagsstoffer, som tillader en klar skelnen mellem duft og smag. Holder vi os for næsen, mens vi spiser, kan vi næsten ikke smage maden. Den oplevelse kender vi også fra en voldsom forkølelse, der lukker for luftpassagen til næsen. Ca. 80 % af en smagsoplevelse kommer fra lugtesansen. Det er lugten, der giver smag!

Lugtesansen er derfor også vigtigere end smagssansen, når vin skal bedømmes. For mens vi kun kan skelne mellem nogle få hundrede forskellige smagsindtryk – sammensat af surt, sødt, salt, bittert og umami – er vi i stand til at skelne mellem flere tusinde dufte.

### Tænk selv

Hvorfor er smagsstoffer ikke flygtige?



Figur 6-23 Lugt- og smagssansen.



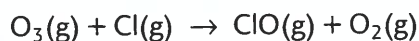
Selve sanseapparatet kaldes lugtepitellet, og det sidder øverst oppe i næsehulen. Det er på størrelse med en 5-krone og indeholder godt 10 millioner lugteceller med receptorer, der er indhyllet i en 30 µm tyk slimhinde. Slimen består hovedsageligt af vand med lidt protein, hvoraf nogle molekyler sandsynligvis sørger for transporten af duftmolekyler gennem slimen til receptorerne.

Hvordan de enkelte duftmolekyler kommer i kontakt med en receptor og slipper fri igen, er ikke tilfredsstillende forklaret. Men det er en erfaring, at duftstoffer – ud over at være hydrofobe – har molekyllmasser på 200-300 u.

Man regner med, at duftmolekylernes struktur er vigtig for lugtindtrykket. Sandsynligvis registrerer vi flere strukturer samtidig, idet opfattelsen af lugte er som genkendelse af et mønster eller et fingeraftryk.

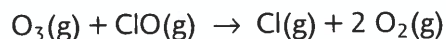
Duften og smagen af fx ægte vanille skyldes mere end 200 stoffer. Det dominerende duftstof er vanillin, der bruges i kunstig vanille. Nok minder duften og smagen fra vanillin meget om vanille, men det er ikke svært at smage forskel.

Chloratomet reagerer med ozon



Aktiveringsenergien for denne reaktion er kun 2,2 kJ/mol. Tilstedeværelsen af chlor øger hastigheden af spaltningen af ozon markant.

Endvidere kan dannet chloroxid reagere med et andet ozonmolekyle ifølge reaktionsskemaet



Denne reaktion er så hurtig, at aktiveringsenergien ikke er kendt med sikkerhed.

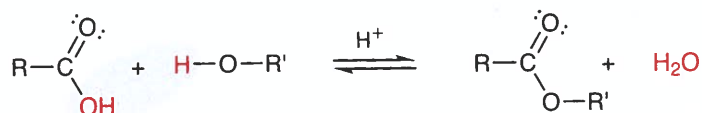
Chloratomer fungerer som katalysator ved nedbrydningen af ozon ved at ændre reaktionsvejen for omdannelsen af  $\text{O}_3$  til  $\text{O}_2$ .

Da både chlor og ozon er gasser, optræder chlor her som en homogen katalysator.

### Esterdannelse

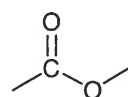
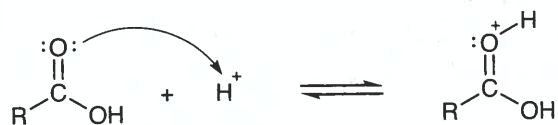
Estere har vi omtalt i forbindelse med duftstoffer i vin sidst i kapitel 6, side 167. Estergruppen  $-\text{COO}-$  forekommer også i polysaccharidet pectin, der findes i citroner, og som er et udbredt konsistensmiddel i nogle fødevarer.

Når en carboxylsyre og en alkohol opvarmes sammen med en stærk syre, indstiller der sig en ligevægt med en ester og vand

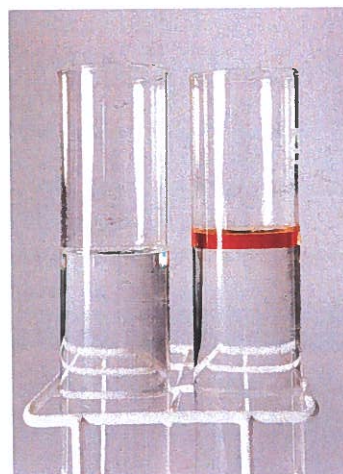


Den tilsatte syre, som regel koncentreret saltsyre eller svovlsyre, fungerer som katalysator. Uden tilsætning af syre forløber denne kondensationsreaktion praktisk taget ikke. Da katalysatoren har samme tilstandsform som de reagerende stoffer, er reaktionen en homogen katalyseret esterdannelse.

Katalysatoren afgiver først en hydron til oxygenatomet i carboxylsyrens carbonylgruppe, der er polær. Herved bliver dobbeltbindingens to elektronpar yderligere tiltrukket af O-atomet, og carbonatomet dermed relativt endnu mere positivt i carboxylgruppen.

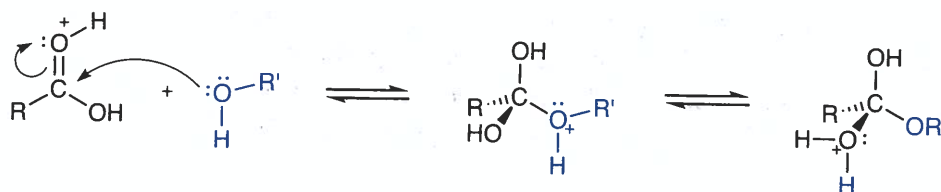


estergruppe

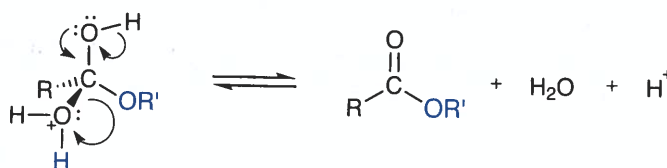


Resultat efter 20 minutters opvarmning af en blanding af ethansyre og ethanol udført som to forsøg. I glasset til venstre, hvor der ikke er tilsat katalysator, ses én fase. I glasset til højre ses to faser. Den øverste består af ester, der ikke er blandbar med vand, og som er farvet med diiod for at tydeliggøre væske-laget.

Oxygenatomet på alkoholen er den negative del af den polære hydroxygruppe og angriber C-atomet i syrens carboxylgruppe. Herved dannes en ny C–O-binding, esterbindingen. Efterfølgende hopper hydronen fra det ene O-atom til det andet



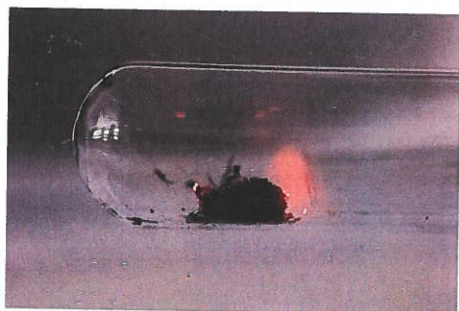
Til sidst brydes en C–O-binding, og vand afgives. Samtidig frigøres en hydron



Hydronen kan derpå indgå i en ny katalytisk cyklus i overensstemmelse med, at en katalysator ikke forbruges ved en kemisk reaktion.

Uanset om reaktionen forløber med eller uden syre som katalysator, dannes og brydes C–O-bindinger under reaktionen. Det er dannelsen af C–O-esterbindingen, der har den højeste aktiveringsenergi, og det er dermed den delreaktion, som er det hastighedsbestemmende trin for reaktionen. Med sin positive ladning sænker hydronen aktiveringsenergien for dette trin, ligesom afgivelsen af vand til sidst også får en mindre aktiveringsenergi end ellers.

## Heterogen katalyse



En tot platinasbest (5 % platin finfordelt på overfladen af asbestfibre) udglødes et øjeblik over en gasflamme. Ledes dihydrogen fra en trykflaske ind over platinasbesten, kan blandingen af dihydrogen og luftens dioxygen antændes.  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Platinasbest virker som katalysator for reaktionen mellem dihydrogen og dioxygen, så reaktionen kan forløbe ved stuetemperatur.

Når et metal eller et andet fast stof anvendes som katalysator for en reaktion mellem gasser eller væsker, foregår reaktionen på katalysatorens overflade. Den type reaktioner, hvor katalysatoren og de reagerende stoffer ikke har samme tilstandsform, kaldes heterogen katalyse.

Ved addition af hydrogen til C=C-bindinger i umættede carbonhydrider eller fedtstoffer anvendes heterogen katalyse. Disse industrielt meget vigtige reaktioner kaldes også for hydrogenering.