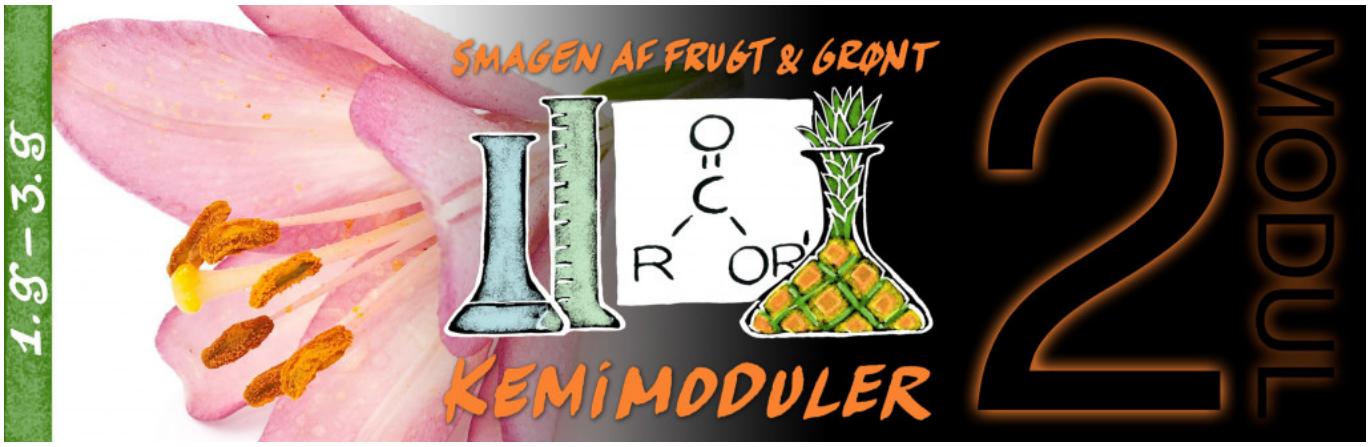
SMAG for LIVET

Introduktion til aromastoffer og estere

Forfattere: Lone Berg
Redaktør: Thomas Brahe
Faglige temaer: Aromastoffer, Estere

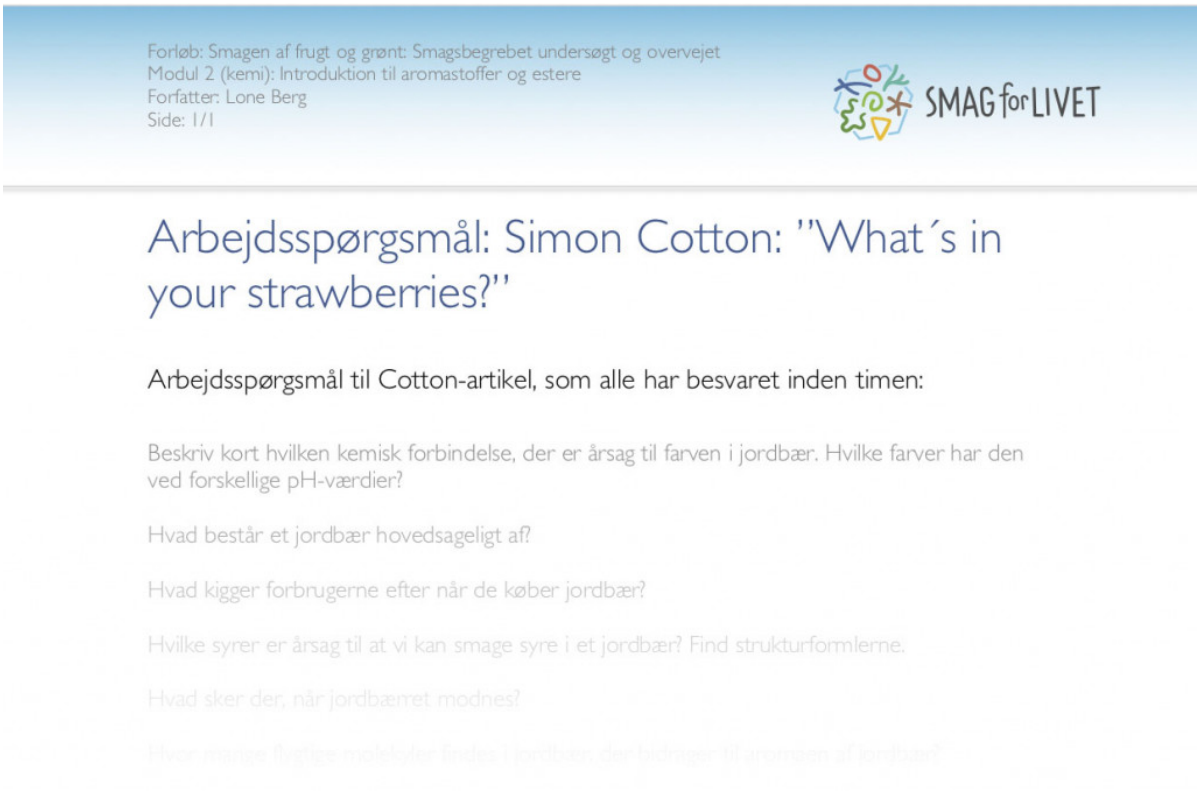


Introduktion:
Der arbejdes med elevernes bevidsthed om sammenhængen mellem stoffers struktur, deres kemiske og fysiske egenskaber samt bevidsthed om stoffers anvendelse i hverdagen, herunder smagsoplevelsen.

Aktivitet med dialogoplæg og billeder

1	Lærergennemgang af kondensationsreaktionen bag en estersyntese (15 min.)
2	Eleverne øver navngivning af estere vha Marvinsketch og quizlet" (20 min.) https://quizlet.com/103603000/estere-flash- cards/ Tegn strukturformlerne på esterne i Marvinsketch
3	Gruppearbejde om artikel "What´s in your strawberries" (45 min.) (Originalkilde). Eleverne har individuelt hjemmefra arbejdet med spørgsmålene på nedenstående opgaveark.

NORDEA FONDEN
Vi støtter gode liv



Forløb: Smagen af frugt og grønt: Smagsbegrebet undersøgt og overvejet
Modul 2 (kemi): Introduktion til aromastoffer og estere
Forfatter: Lone Berg
Side: 1/1

SMAG for LIVET

Arbejdsspørgsmål: Simon Cotton: "What´s in your strawberries?"

Arbejdsspørgsmål til Cotton-artikel, som alle har besvaret inden timen:

Beskriv kort hvilken kemisk forbindelse, der er årsag til farven i jordbær. Hvilke farver har den ved forskellige pH-værdier?

Hvad består et jordbær hovedsageligt af?

Hvad kigger forbrugerne efter når de køber jordbær?

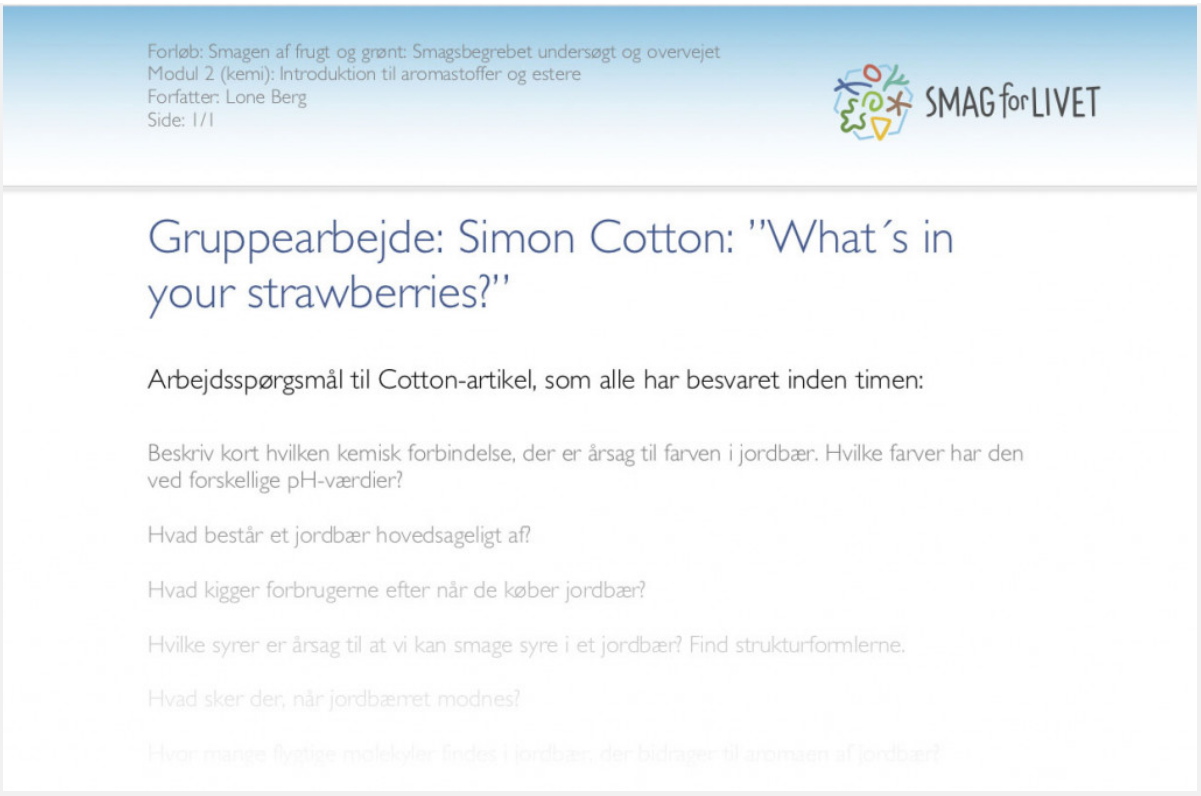
Hvilke syrer er årsag til at vi kan smage syre i et jordbær? Find strukturformlerne.

Hvad sker der, når jordbærret modnes?

Hvor mange flygtige molekyler findes i jordbær, der bidrager til aromaen af jordbær?

[Download arket med spørgsmål til elevernes individuelle forberedelse her](#).

4 Gruppearbejdet tager efterfølgende udgangspunkt i dette arbejdsark:


Forløb: Smagen af frugt og grønt: Smagsbegrebet undersøgt og overvejet
Modul 2 (kemi): Introduktion til aromastoffer og estere
Forfatter: Lone Berg
Side: 1/1

Gruppearbejde: Simon Cotton: "What´s in your strawberries?"

Arbejdsspørgsmål til Cotton-artikel, som alle har besvaret inden timen:

Beskriv kort hvilken kemisk forbindelse, der er årsag til farven i jordbær. Hvilke farver har den ved forskellige pH-værdier?

Hvad består et jordbær hovedsageligt af?

Hvad kigger forbrugerne efter når de køber jordbær?

Hvilke syrer er årsag til at vi kan smage syre i et jordbær? Find strukturformlerne.

Hvad sker der, når jordbærret modnes?

Hvor mange flygtige molekyler findes i jordbær, der bidrager til aromaen af jordbær?

[Download arbejdsark til gruppearbejdet her](#).

Noter:

- Gruppemedlemmer fremlægger individuelt hjemmearbejde for hinanden
- Man diskuterer sig frem til de bedste svar og skriver dem ind på f.eks. GoogleDrive
- Gruppen svarer sammen på spørgsmålene 1, 2 og 3:

1. Bestem hvilke funktionelle grupper molekylerne i tabel 1 indeholder og afgør hvilke af molekylerne, der er estere.
2. Bestem hvilke alkoholer og carboxylsyrer esterne i tabel 1 er opbygget af.
3. Formulér afslutningsvis et svar på hvad der giver jordbær sin farve og hvad der gør smagen og duften af jordbær så attraktiv? Svaret skal kunne tages op ved den fælles opsamling på klassen.

5 Opsamling på klassen (10 min.)

Noter:

- Opsamling ved udvalgte grupper ud fra besvarelser på eks. GoogleDrive. Der skrives til ved nye pointer.
- Opsamling på evt. spørgsmål, som har meldt sig i arbejdet undervejs.

Forberedelser

For eleverne gælder:

- I forbindelse med gruppearbejde om artiklen "What's in your strawberries" skal eleverne individuelt forberede sig ved at forholde sig til disse spørgsmål (udleveres/gøres tilgængelig til eleverne).
- s. 167-168 i Basiskemi B (lånes/hentes hjem/kopieres særskilt til eleverne)
- s. 166-168 i Kend Kemien 2 (1. Udgave)

Kopiark

Kopiark:
Kopiark - Aflevering 1 - Modul 2 Kemi - Smagen af frugt og grønt.pdf
Kopiark - Arbejdsspørgsmål til Cotton - Modul 2 Kemi - Smagen af frugt og grønt.pdf
Kopiark - Gruppearbejde til Cotton - Modul 2 Kemi - Smagen af frugt og grønt.pdf
What is in your strawberries.pdf
Kend Kemien 2 s. 166-168 og s. 217-218.pdf

Aflevering 1: Film dit kemiforsøg "Smagen af frugt – aromastoffer"



Hvad skal filmen indeholde?

Filmen skal være en dokumentarfilm om aromastoffer i frugt og den skal inddrage øvelsen "Smagen af frugt og grønt - Aromastoffer".

I filmen skal I fortælle om forsøgets formål, idet I skal inddrage aromastoffers betydning for smagen.

Dokumentarfilmen skal inddrage teori om hvordan aromastoffer kan syntetiseres og vise udførelsen af det. Det er vigtigt I får forklaret hvordan I udfører forsøget, hvad I bruger af kemikalier og inddrager hvad udstyret hedder.

Filmen afrundes med at vise, om det er muligt at dufte sig frem til de aromastoffer, som teorien siger I skal have dannet.

Teori, herunder reaktionsskemaer, resultater og efterbehandling kan forklares ved at skrive på tavlen eller ved at bruge tegneprogrammet Marvin sketch og Maple eller lignende computerprogrammer.

Formidling

Tænk hele tiden på at lave GOD FORMIDLING. Det skal være et produkt, som kan vises frem for andre, der ikke har haft om aromastoffer og deres betydning for smagen.

Hvorfor en dokumentarfilm?

For at træne mundtlig fremlæggelse, for til en evt. mundtlig prøve er det bare at fortælle løs.

Om værktøjet

I kan bruge lige det, I har lyst til og kender bedst – fokus skal være på indholdet og ikke formen/formatet.

Hjælp hinanden indbyrdes mellem grupperne med det tekniske. Alle gruppemedlemmer skal deltage i videoen og aktivt deltage i produktionen.

I kan f.eks. filme med mobiltelefon, webcam'et på computer, indtale lyd i en powerpoint.

Aflevering

Foregår ved at I uploader jeres film til youtube (skjult), og linket indsættes i et Word-dokument, som I hver især uploader til lectio. Heraf skal det fremgå, hvem der har lavet filmen, og hvilken øvelse der er behandlet. Dokumentarfilmen, der er en gruppeaflevering, skal klippes til, så den maksimalt fylder 7 minutter.

NORDEA FONDEN
Vi støtter gode liv

Arbejdsspørgsmål: Simon Cotton: "What´s in your strawberries?"

Arbejdsspørgsmål til Cotton-artikel, som alle har besvaret inden timen:

Beskriv kort hvilken kemisk forbindelse, der er årsag til farven i jordbær. Hvilke farver har den ved forskellige pH-værdier?

Hvad består et jordbær hovedsageligt af?

Hvad kigger forbrugerne efter når de køber jordbær?

Hvilke syrer er årsag til at vi kan smage syre i et jordbær? Find strukturformlerne.

Hvad sker der, når jordbærret modnes?

Hvor mange flygtige molekyler findes i jordbær, der bidrager til aromaen af jordbær?

Nævn de fem grundlæggende sensoriske indtryk jordbær giver et smagspanel af sensorikere.

Hvad betyder ppb? (undersøg det ved at slå op i jeres kemibog, f.eks. Kend Kemien 1)

Hvad kaldes en cyklisk ester?

Hvilket aromastof dufter af nyklippet græs og hvilken stofklasse tilhører det?

Hvad kendetegner vilde jordbær sammenlignet med kultiverede jordbær? Hvilken stofklasse findes i højere grad i vilde jordbær?

NORDEA FONDEN
Vi støtter gode liv

Gruppearbejde: Simon Cotton: "What´s in your strawberries?"

Arbejdsspørgsmål til Cotton-artikel, som alle har besvaret inden timen:

Beskriv kort hvilken kemisk forbindelse, der er årsag til farven i jordbær. Hvilke farver har den ved forskellige pH-værdier?

Hvad består et jordbær hovedsageligt af?

Hvad kigger forbrugerne efter når de køber jordbær?

Hvilke syrer er årsag til at vi kan smage syre i et jordbær? Find strukturformlerne.

Hvad sker der, når jordbærret modnes?

Hvor mange flygtige molekyler findes i jordbær, der bidrager til aromaen af jordbær?

Nævn de fem grundlæggende sensoriske indtryk jordbær giver et smagspanel af sensorikere.

Hvad betyder ppb? (undersøg det ved at slå op i jeres kemibog, f.eks. Kend Kemien 1)

Hvad kaldes en cyklisk ester?

Hvilket aromastof dufter af nyklippet græs og hvilken stofklasse tilhører det?

Hvad kendetegner vilde jordbær sammenlignet med kultiverede jordbær? Hvilken stofklasse findes i højere grad i vilde jordbær?

Gruppearbejdet

I har 45 min. til dette arbejde. Sørg for at nå rundt om alle spørgsmålene.

1. Fremlæg hver især jeres hjemmearbejde for hinanden i gruppen.

2. Diskutér jer frem til de allerbedste svar, og opret et google docs og skriv svarene ind i timens mappe på GoogleDrev.

3. Bestem hvilke funktionelle grupper molekylerne i tabel 1 indeholder og afgør hvilke af molekylerne, der er estere.

4. Bestem hvilke alkoholer og carboxylsyrer esterne i tabel 1 er opbygget af.

5. Formulér afslutningsvis et svar på hvad der giver jordbær sin farve og hvad der gør smagen og duften af jordbær så attraktiv? Svaret skal kunne tages op ved den fælles opsamling på klassen.

NORDEA FONDEN
Vi støtter gode liv

What's in your strawberries?

Why are strawberries so irresistible? Do the strawberries you pick in the wild really taste nicer than shop-bought ones?

Simon Cotton



ISTOCKPHOTO

'Doubtless God could have made a better berry, but doubtless God never did', said a 17th century writer. This view is shared by many, especially Wimbledon spectators who eat around a million strawberries, ie nearly 30 tons, in a fortnight.

Modern cultivated or garden strawberries (*Fragaria x ananassa*) are a hybrid species derived from a fortuitous cross between a Chilean and a North American species. They were first bred in Brittany in France in the 1750s. The strawberries we buy in shops are all cultivars (or varieties).

Have you ever wondered what makes the colour, taste and smell of strawberries so attractive? Why do the ones you might find growing wild seem tastier? Is there something in the chemistry? These are questions close to the heart of strawberry producers as they call on science to help them develop their sweetest, juiciest, most fragrant and appealing fruit.

In short

- Wild strawberries have higher aroma intensities and significantly richer flavours because they contain greater quantities of odorous molecules
- Genes for odour molecules are lost during the breeding process



PLAIN PICTURE/LEININGER

Colour

The colour of strawberries is due to anthocyanins, mainly pelargonidin 3-glucoside (*fig 1*). Anthocyanins are water soluble pigments found in plant cells. They are also responsible for the red colour in some autumn leaves. Aside from this, anthocyanins can be used as pH indicators – they are pink in acid, purple in neutral and yellow in alkaline solutions.

Strawberries are highly nutritious. They contain very high levels of vitamin C and anthocyanins are also powerful antioxidants, which give strawberries huge health benefits. Some 90% of a ripe strawberry is water, but it also contains sugars, about 80% of which are glucose and fructose. Most vitamin C is made from glucose via the so called 'L-galactose pathway'.[1]

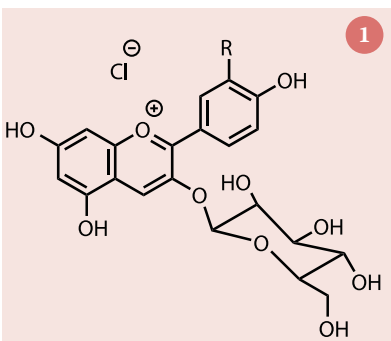


Fig 1
Pelargonidin 3-glucoside is mainly responsible for the colour of strawberries

Balancing the taste

As consumers, we look for the right combination of sweetness, acidity and flavour in our strawberries. The flavour depends on the balance between several molecules.

As strawberries ripen, their sugar content rises from about 5% in unripe green fruit to 6–9% on ripening. The acidity comes mainly from citric acid which comprises about 88% of the acid content, along with malic acid and ellagic acid. When they ripen, the acidity decreases. As the sugar/acid ratio changes, so ripe strawberries taste sweeter.[2] The ripening process is controlled by the hormone auxin. When this reaches its peak, it causes the cell wall to begin to degrade and so a ripe strawberry becomes juicy as well as sweet.

Sniffing out the aroma

Over 350 different volatile molecules have been identified in strawberries and scientists have identified those which contribute to the aroma (known as odorants). To do this, they extracted these molecules from fresh strawberry juice, and identified those with the highest Flavour Dilution (FD) factors (*table 1*).[3] The FD is the amount that the extract can be diluted while the odorant can still be detected.

To find out which odorant contributed to each type of aroma, they made a model juice containing each of the odorants at the same concentration found in the original juice extract. Sensory testers agreed that this model closely matched the real extract.

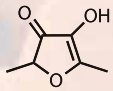
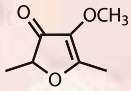
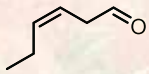
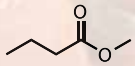
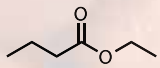
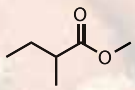
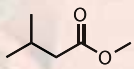
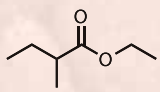
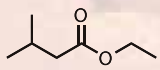
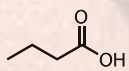
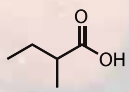
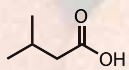
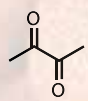
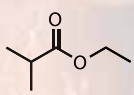
The next step was to identify each of the individual aromas. They did this by making a series of new mixtures, each containing 11 of the 12 main odorants, with a different molecule missing from each. The testers could therefore find out if omitting that molecule made any difference to the odour. For example, leaving out 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (**1**) or (Z)-3-hexenal (**3**) was noticed by virtually all the testers, and omitting esters like methyl butanoate, ethyl butanoate or ethyl 2-methylbutanoate were also spotted by most.

This analysis led to the characterisation of five basic sensory impressions of strawberries: caramel, fruity, green, lactone-like and buttery.

Fragrant esters

Esters are molecules which are well known for producing flavours and aromas. They are very abundant strawberry volatiles, in some cases comprising over 95% of the total,

Table 1 – Some volatile molecules which contribute to the aroma of strawberries

			Odour quality	FD factor
1		4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	caramel	4096
2		4-methoxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone	caramel, burnt	64
3		(Z)-3-hexenal	green, leaflike	1024
4		methyl butanoate	fruity	256
5		ethyl butanoate	fruity	512
6		methyl 2-methylbutanoate	fruity	256
7		methyl 3-methylbutanoate	fruity	256
8		ethyl 2-methylbutanoate	fruity	128
9		ethyl 3-methylbutanoate	fruity	128
10		acetic acid	sour	1024
11		butanoic acid	sweaty	2048
12		2-methylbutanoic acid	sweaty	256
13		3-methylbutanoic acid	sweaty	256
14		butan-2,3-dione	buttery	256
15		ethyl 2-methylpropanate	fruity	128

ISTOCKPHOTO



A wild strawberry

with methyl butanoate (**4**), ethyl butanoate (**5**), butyl ethanoate, methyl hexanoate, and ethyl hexanoate usually most abundant.

Only a few esters individually make key contributions to the aroma, as their aroma thresholds (the concentration below which the molecule cannot be smelt) vary enormously. For example, the aroma threshold for butyl ethanoate is 5000 ppb, but is only 0.13 ppb for its isomer, ethyl butanoate.

Different cultivars produce different amounts of esters as well as different proportions and so the ratio of ethyl and methyl esters depends on the genotype and the year, as well as upon growing conditions. In the fruit, esters are formed from the reaction between an acyl coenzyme A (acyl-CoA) and an alcohol, catalysed by the alcohol acyltransferase enzyme (AAT; *fig 2*). As the fruit ripens, AAT activity increases. It is those cultivars with highest AAT activity that produce most ester and so have the strongest smell.[4] There are also some lactones (cyclic esters) present in strawberries which contribute to their aroma, notably γ-decalactone and γ-dodecalactone.

The 'green' note identified by the scientists comes from the breakdown of certain fatty acids which produces several C_6 molecules, (Z)-3-hexenol, hexanal, (E)-2-hexenal and (Z)-3-hexenal (**3**). The last of these also produces the smell of freshly cut grass and is a key contributor to a fresh strawberry smell.[5]

FURTHER READING

- G Darrow, *The strawberry; history, breeding, and physiology*. New York, US: Holt, Rinehart and Winston, 1966 (**http://1.usa.gov/yItcUm**)
- J Hancock, *Strawberries (crop production in horticulture)*. New York, US: CABI Publishing, 1999

Breeding and taste

Of course, as consumers, what we strive for is the perfect strawberry which tastes and smells wonderful and looks inviting. For those breeding strawberries, this means finding a suitable balance of flavour. Varieties or cultivars with poor flavour generally lack esters and may also contain large amounts of the furanones and lactones. Too much lactone can cause a disproportionate peach note.

Producers aim for strawberries offering high yields of big fruit, good appearance, high disease resistance and a long shelf life. However, inbreeding to achieve these characteristics produces commercial strawberries with a narrow genetic base, at the cost of the loss of flavour molecules. Perhaps this is a clue to why people say that wild strawberries taste better and have better aromas than cultivated strawberries?

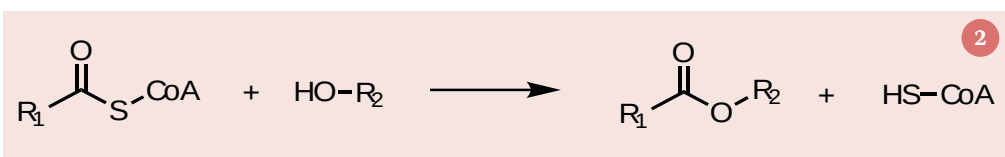


Fig 2
Fragrant esters are formed from the reaction between an acyl coenzyme A and an alcohol, catalysed by alcohol acyltransferase

Wild strawberries

Compared with cultivated strawberries, the wild species have higher aroma intensities and significantly richer flavours, because they contain greater quantities of odorous molecules, including some extra ones.

In a comparison test between the cultivated variety *Fragaria x ananassa Elsanta* and the wild *Fragaria vesca*, scientists found that the cultivated strawberry contained only two terpenoid (highly aromatic) molecules but a wide range were present in the wild sample including α-pinene, β-myrcene, α-terpineol and β-phellandrene as well as myrtenyl acetate and myrtenol.[6] These cause the smell of essential oils found in plants such as conifers and herbs such as myrtle and bay which all have strong aromas and flavours.

The usual method of analysing and measuring flavours and aromas in foods is to carry out a headspace analysis. In this technique, samples are sealed in glass containers and the gas given off is analysed by gas chromatography-mass spectrometry.

Lost in breeding

Compared with cultivated strawberries, the wild species have higher aroma intensities and richer flavours, as they contain greater quantities of odorous molecules, including some extra ones like methyl anthranilate. Back-crossing with cultivars gives smaller berries with aromas more like wild strawberries.

Finally, something to try out for yourself – researchers have found that adding cream to raspberries markedly reduces the concentrations of flavour volatiles.[7] The corresponding experiment with strawberries does not seem to have been reported...

Simon Cotton is an honorary senior lecturer in chemistry at the University of Birmingham

References

1. E Cruz-Rus *et al, J. Exp. Bot.*, 2011, **62**, 4191 (DOI: 10.1093/jxb/err122)
2. R Azodanlou *et al, Eur. Food Res. Technol.*, 2004, **218**, 167 (DOI: 10.1007/s00217-003-0822-0)
3. P Schieberle and T Hofmann, *J. Agric. Food Chem.*, 1997, **45**, 227 (DOI: 10.1021/jf960366o)
4. M González *et al, J. Agric. Food Chem.*, 2009, **57**, 9123 (DOI: 10.1021/jf901693j)
5. W Schwab *et al, Plant J.*, 2008, **54**, 712 (DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03446.x)
6. A Aharoni *et al, Plant Cell*, 2004, **16**, 3110 (DOI: 10.1105/tpc.104.023895)
7. D Roberts and T Acree, *J. Agric. Food Chem.*, 1996, **44**, 3919 (DOI: 10.1021/jf950701t)

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

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 mf., 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 nv., 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 nv., 38 mv., 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 Brecelj s. 81 n.
Scanpix/Reuters s. 87 ø., 109 nv.
Scanpix/Biofoto/Johnny Madsen s. 88
Scanpix/Corbis/Natalie Fobes s. 89
Scanpix/Corbis/Tibor Bognar s. 93 n.
Martynband.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 Djenner 109 nh.
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 nv., 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 nv.
Universitet II i Bordeaux, Ønologisk Fakultet Université de Bordeaux (II), Faculté de oenologie s. 163 nh.
Scanpix/Biofoto/Gert S. Laursen s. 177 ø.
Scanpix/BAM/Tomas Bertelsen s. 178
Scanpix/Werner Forman s. 179 øv.
Scanpix/Corbis/Mike Grandmaison s. 179 øh.
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 øv.
Scanpix/Corbis/William Whitehurst s. 197 m.
Scanpix/Niels Ahlmann Olesen 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/Mediscan 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/CONNER GARY, Index Stock s. 268
BENDIX TRADING s. 270 n.

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

Aldehyder og ketoner

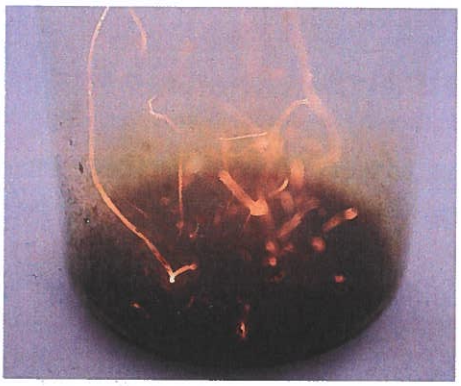
vin aigre (fr.): sur vin
eddike stammer opr. fra det latinske acere: at være sur

Når en alkohol oxideres, fjernes et H-atom fra hydroxygruppen og et H-atom fra det hydroxybærende C-atom. Ved oxidation af en primær alkohol dannes et *aldehyd*. Ved oxidation af en sekundær alkohol dannes en *keton*. Både aldehyder og ketoner indeholder carbonylgruppen, >C=O.

Demo

Oxidation af propan-2-ol

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



Med kaliumdichromat sker der en kraftig oxidation af ethanol.

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

Der findes meget få aldehyder i vin. De reduceres let under alkoholgæringen 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 problemer med fremstillingen af vinen. Under gæringen reduceres ethanal nemlig til ethanol.

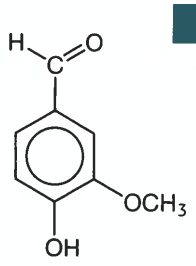
Når vin får tilført for meget dioxygen, bliver den til vineddike. Ethanal er et mellemprodukt under oxidationen af ethanol til ethansyre

$$CH_3{-}CH_2OH(l) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CH_3{-}CHO(l) + H_2O(l)$$

$$CH_3{-}CHO(l) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow CH_3{-}COOH(l)$$

Tænk selv

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



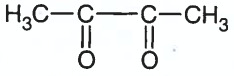
vanillin, et aromatisk aldehyd og en phenol

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.



butandion

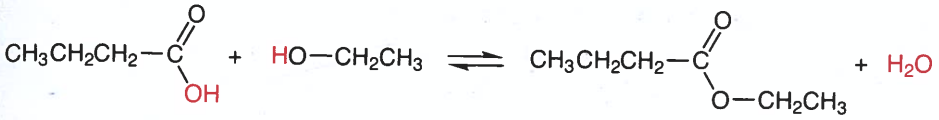
Estere

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

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



butansyre ethanol ethylbutanoat

Forsøg med isotopen ^{18}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.

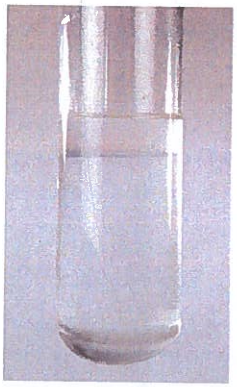
Skriv reaktionsskemaet med sammentrukne strukturformler for reaktionen mellem ethansyre og 2-methylbutan-1-ol.

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 esterne, 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

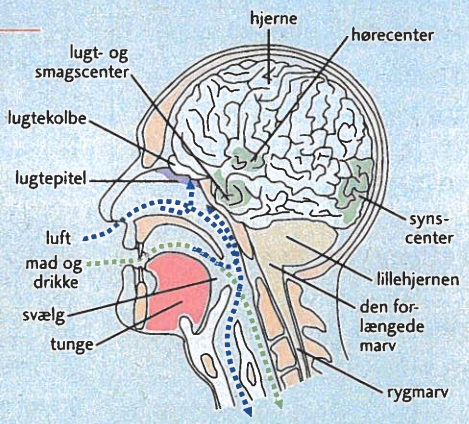
Tabel 6-4 Aromaer

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

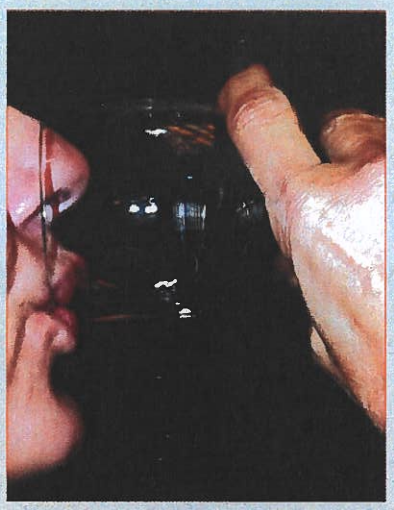
Lugt og smag

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.



Figur 6-23 Lugt- og smagssansen.



Selve sanseapparatet kaldes lugtepitelet, 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 molekylmasser 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.

Tænk selv

Hvorfor er smagsstoffer ikke flygtige?

Chloratomet reagerer med ozon

$$O_3(g) + Cl(g) \rightarrow ClO(g) + O_2(g)$$

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

$$O_3(g) + ClO(g) \rightarrow Cl(g) + 2\ O_2(g)$$

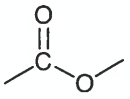
Denne reaktion er så hurtig, at aktiveringsenergien ikke er kendt med sikkerhed.

Chloratomer fungerer som katalysator ved nedbrydningen af ozon ved at ændre reaktionsvejen for omdannelsen af O_3 til O_2.

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

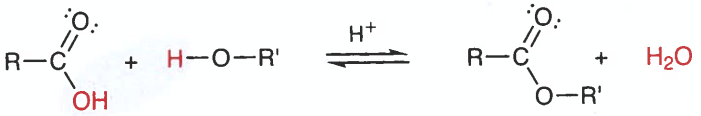
Esterdannelse

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



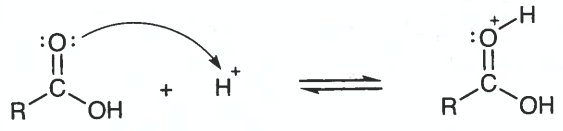
estergruppe

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 homogent katalyseret esterdannelse.

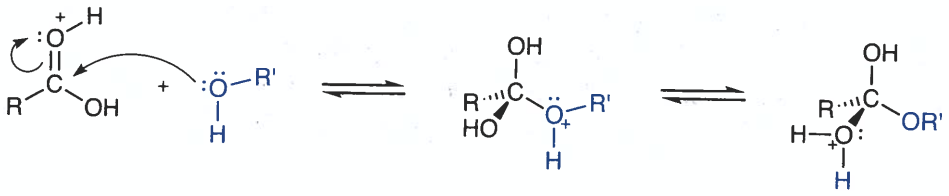
Katalysatoren afgiver først en hydron til oxygenatomet i carboxylsyrens carbonylgruppe, der er polær. Herved bliver dobbeltbindingens to elektronpar yderligere tiltrukket af O-atomet, og carbonatomet dermed relativt endnu mere positivt i carboxylgruppen.



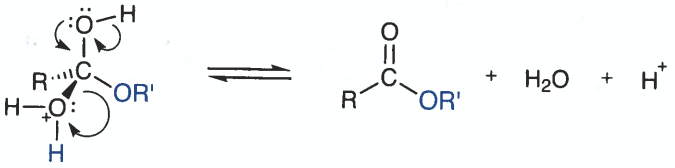


Resultat efter 20 minutters opvarmning af en blanding af ethansyre og ethanol udført som to forsøg. I glasset til venstre, hvor der ikke er tilsat katalysator, ses én fase. I glasset til højre ses to faser. Den øverste består af ester, der ikke er blandbar med vand, og som er farvet med diiod for at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

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



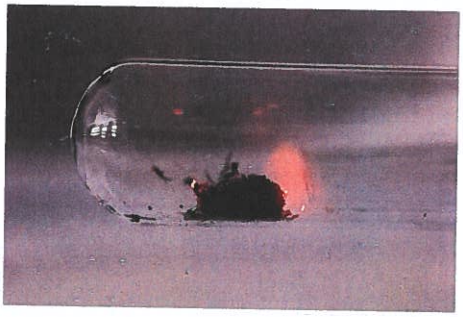
Til sidst brydes en C–O-binding, og vand afgives. Samtidig frigøres en hydron



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 platinsasbest (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. $2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l)$

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.