

ØKOTOKSIKOLOGI

Om PCB, bromerede flammehæmmere og klorerede opløsningsmidler

FIGURER FRA ØKOTOKSIKOLOGI

- ☐ Frugtbarhed, kønsdifferentiering og kønsforvirring
- ☐ PCB ender i isbjørne og modermælk
- ☐ Bromerede flammehæmmere
- ☐ Klorerede opløsningsmidler – en trussel mod vores drikkevand

Økotoksikologi

Om PCB, bromerede flammehæmmere og klorerede opløsningsmidler

Af Carsten Bagge Jensen

Illustrationer: Finn Petersen

© Nucleus Forlag ApS

Eksemplar fremstilling af papirkopier/prints fra denne hjemmeside til undervisningsbrug

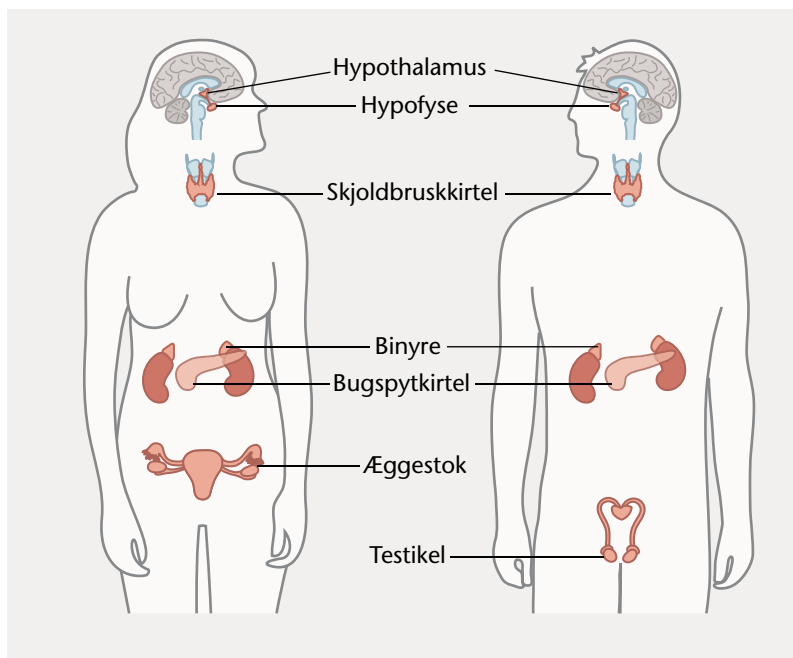
på uddannelsesinstitutioner og intern administrativ brug er tilladt med en aftale med Copydan Tekst & Node.

Eksemplar fremstillingen skal ske inden for de rammer der er nævnt i aftalen.

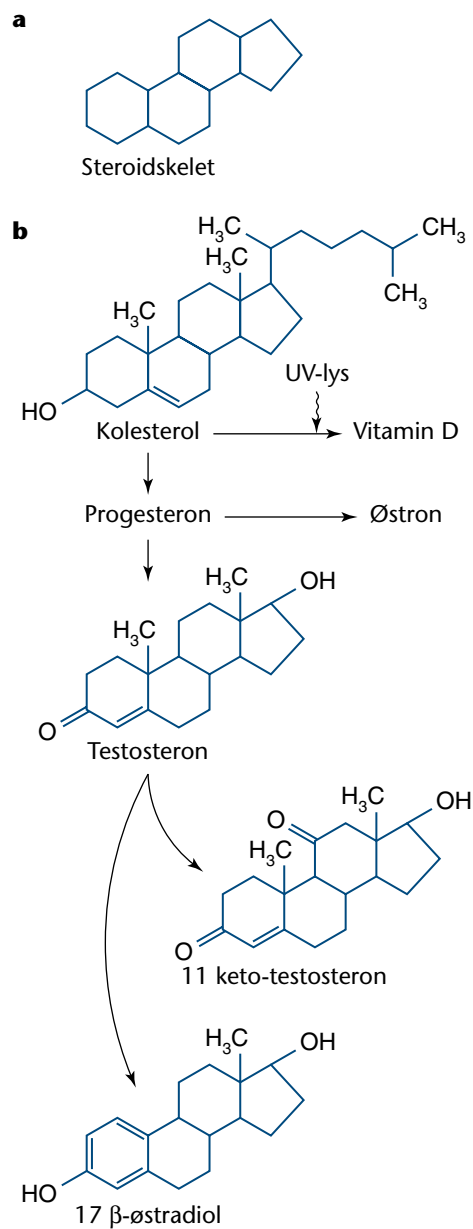
□ Frugtbarhed, kønsdifferentiering og kønsforvirring

Figurliste

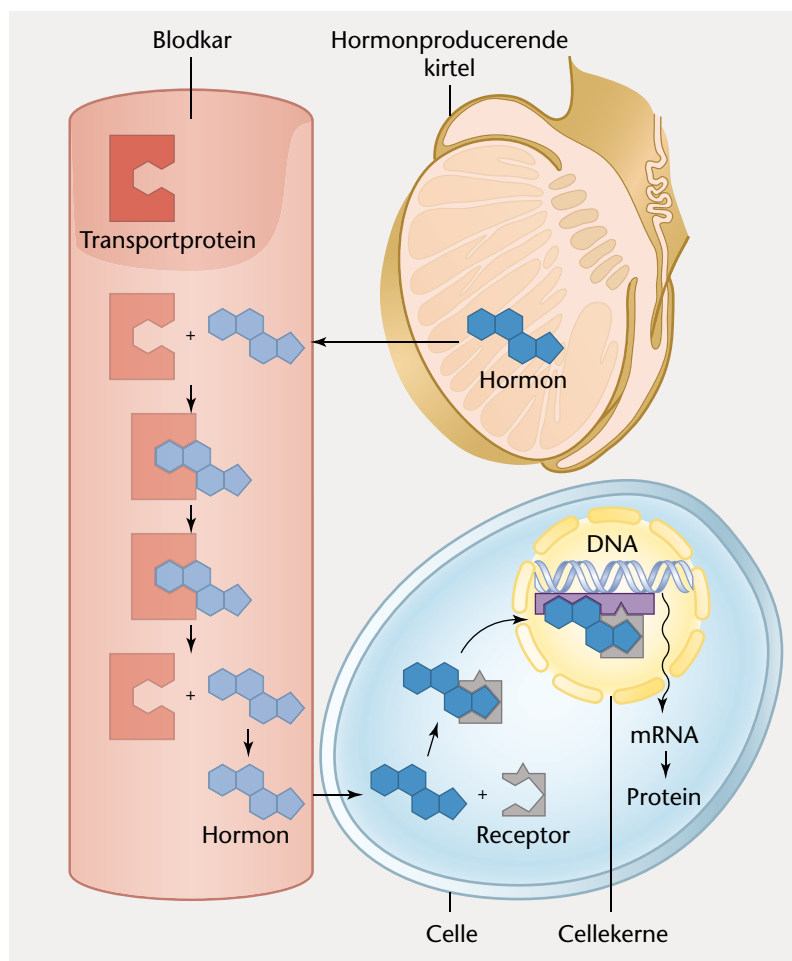
- Figur 2. De endokrine kirtler. [3](#)
- Figur 3. a. Steroidskelet. b. Produktion af [4](#)
kønshormoner og vitamin D ud fra kolesterol. [4](#)
- Figur 4. Steroidhormonet testosterons virkemåde. [5](#)
- Figur 5. Kemiske stoffer med østrogen og anti-østrogen effekt. [6](#)
- Figur 6. PCB-forbindelse omsættes til 3',4',5'-triklor4-bifenylo. [7](#)
- Figur 7. Sammenhæng mellem mænds sædcelleantal og fertilitet. [8](#)
- Figur 8. Testiklernes opbygning. [9](#)
- Figur 9. Østrogene stoffer og sædcelleproduktion. [10](#)
- Figur 10. Kønsdifferentiering hos pige- og drengefostre. [11](#)
- Figur 11. Østrogene stoffers påvirkning af den mandlige kønsudvikling. [12](#)
- Figur 12. Antal konstaterede tilfælde af testikelkræft i perioden 1945-2005. [13](#)
- Figur 14. Tensid med hydrofob og hydrofil ende. [14](#)
- Figur 15. Eksempel på et nonylfenol-molekyle. [15](#)
- Figur 16. Oktylphenol. [16](#)
- Figur 18. Koncentration af blommeprotein i blodet hos hanner af regnbueørred. [17](#)
- Figur 19. Intersex hos hanner i engelske floder. [18](#)
- Figur 20. Parabener. [19](#)
- Figur 21. Forsøg med parabener og ørreder. [20](#)
- Figur 22. Parabeners effekt på hanrotter. [21](#)
- Figur 23. Bisfenol A. [22](#)
- Figur 24. Sammenhængen mellem et miljøfarligt stofs koncentration og virkning på forsøgsorganismen. [23](#)
- Figur 26. Naturligt og syntetisk østradiol. [24](#)
- Figur 27. Hanzebrafisks svømmelængder. [25](#)



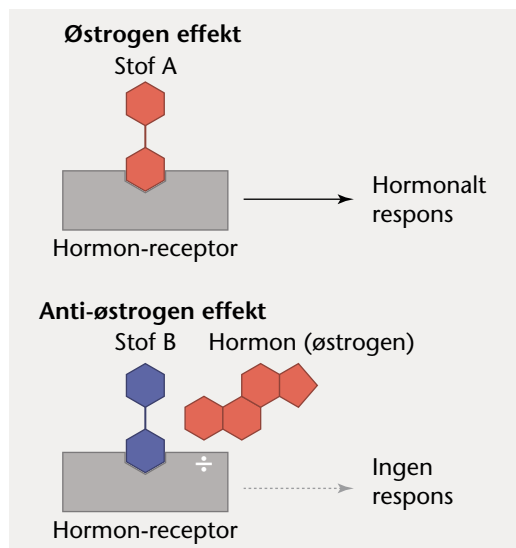
Figur 2. De endokrine kirtler.



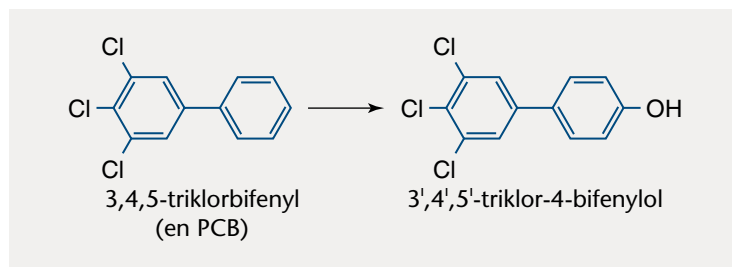
Figur 3. a. Steroidskelet. b. Produktion af kønshormoner og vitamin D ud fra kolesterol.



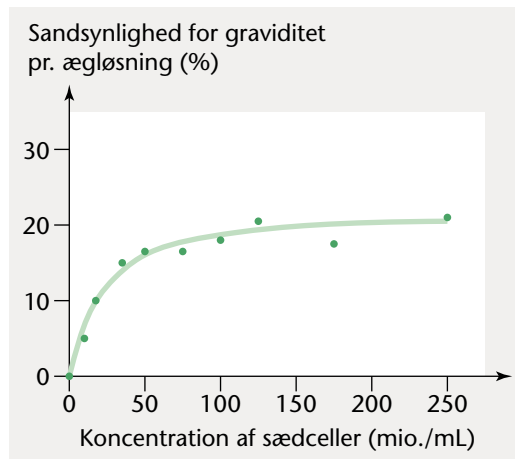
Figur 4. Steroidhormonet testosterons virkemåde.



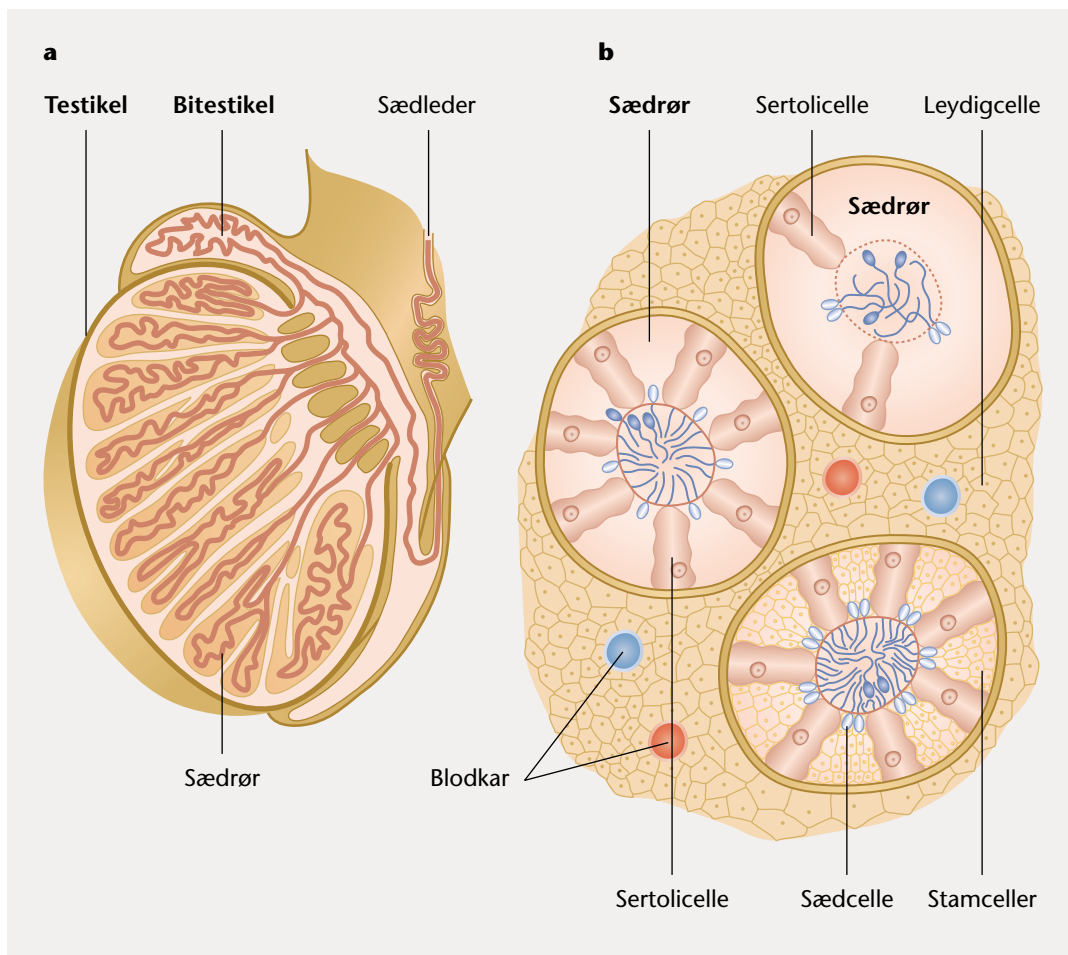
Figur 5. Kemiske stoffer med østrogen og anti-østrogen effekt.



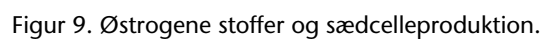
Figur 6. PCB-forbindelse omsættes til 3',4',5'-triklor4-bifenylol.

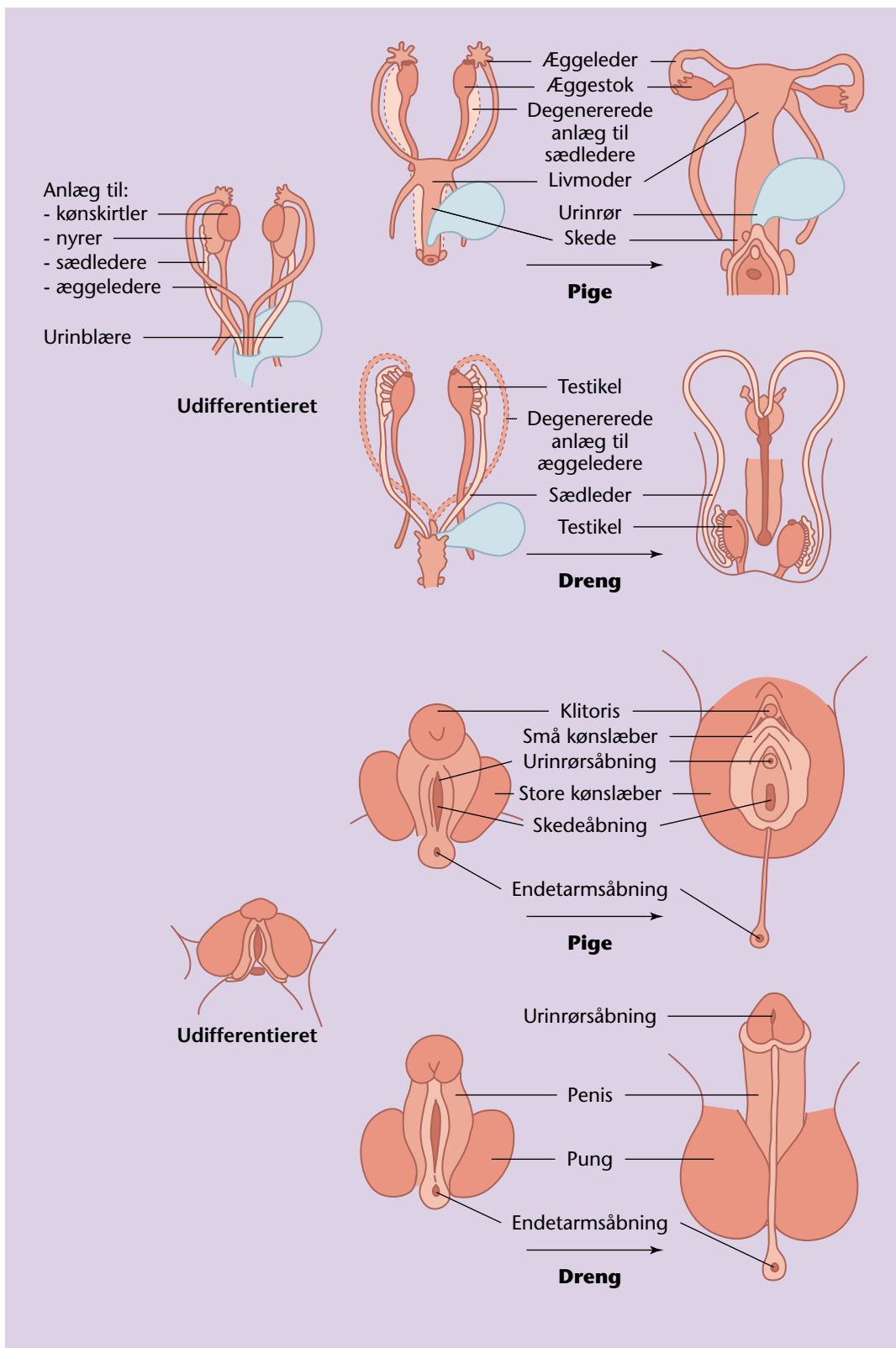


Figur 7. Sammenhæng mellem mænds sædcelleantal og fertilitet.

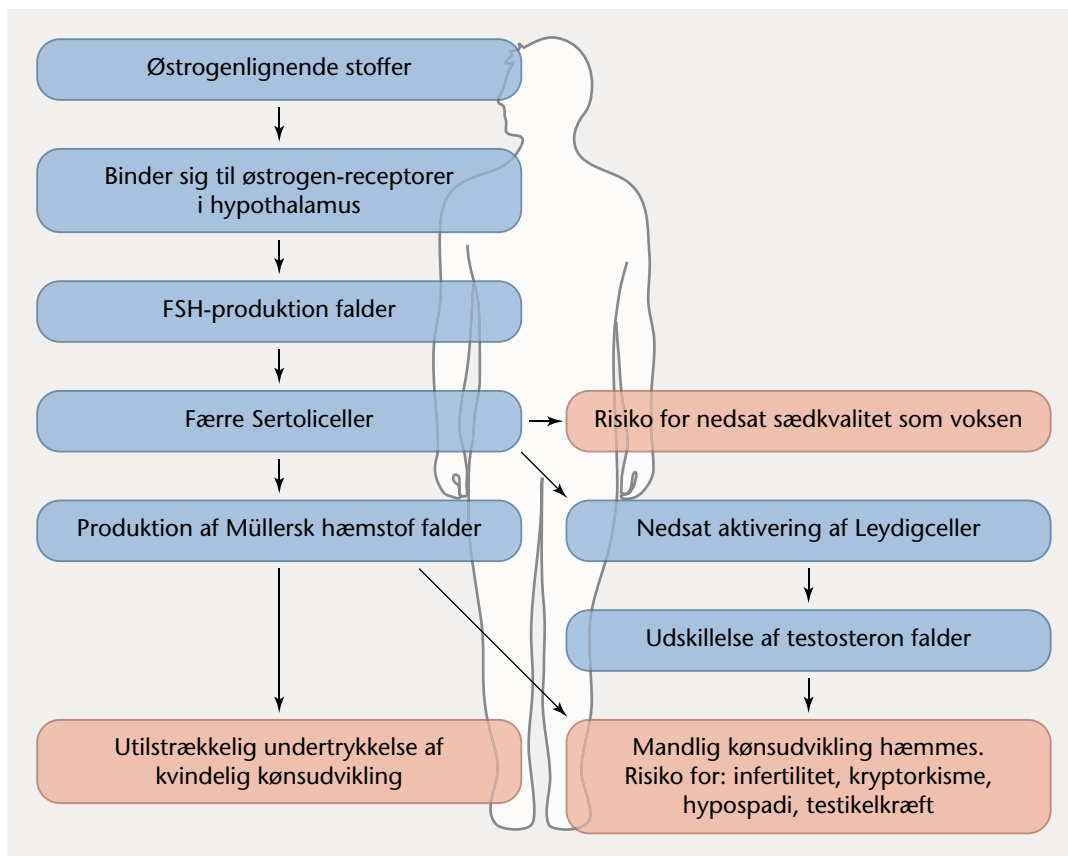


Figur 8. Testiklernes opbygning.

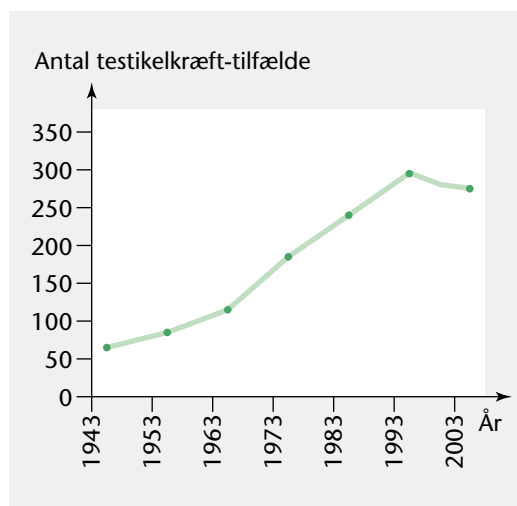




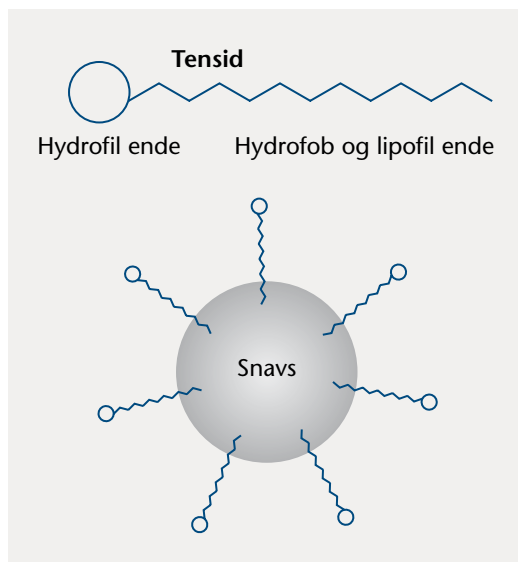
Figur 10. Kønssdifferentiering hos pige- og drengefostre.



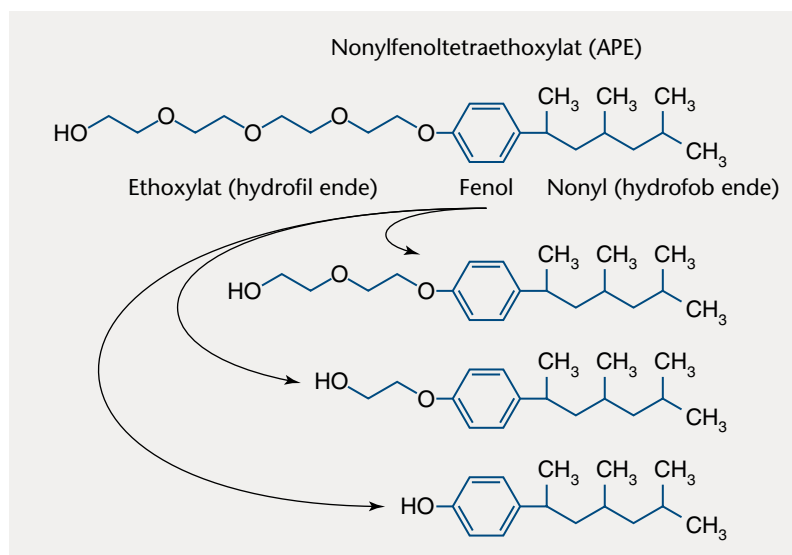
Figur 11. Østrogene stoffers påvirkning af den mandlige kønsudvikling.



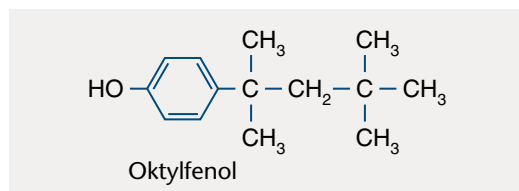
Figur 12. Antal konstaterede tilfælde af testikelkræft i perioden 1945-2005.



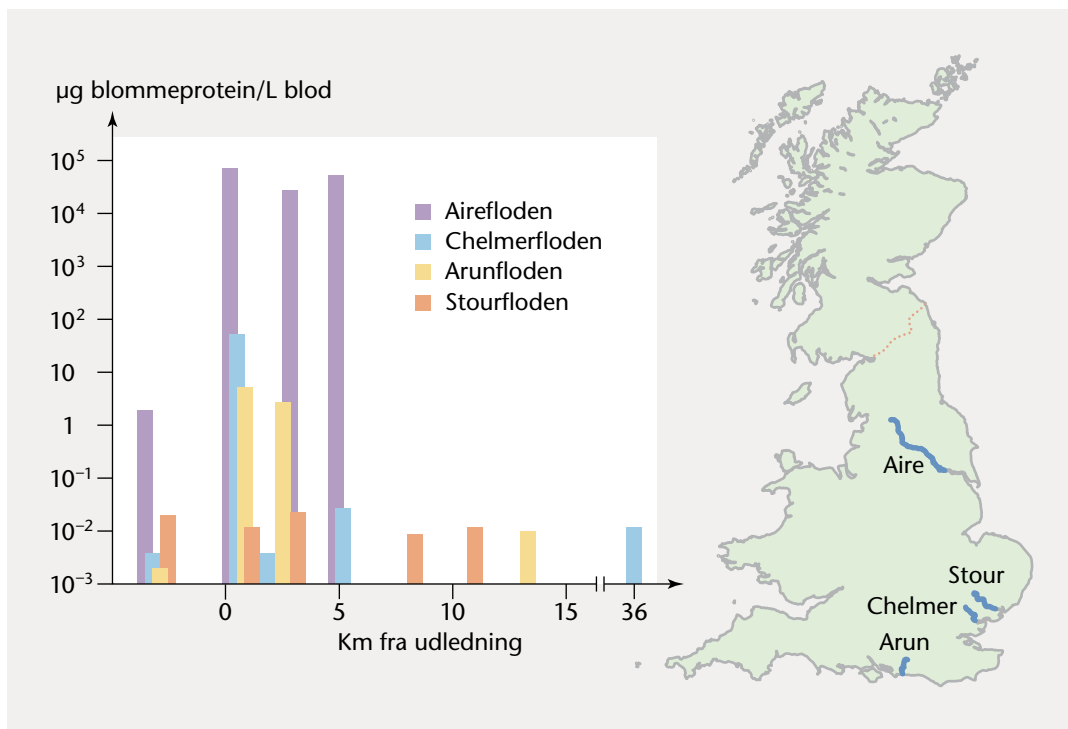
Figur 14. Tensid med hydrofob og hydrofil ende.



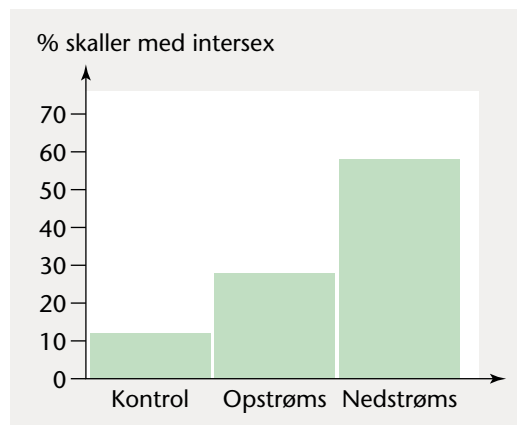
Figur 15. Eksempel på et nonylfenol-molekyle.



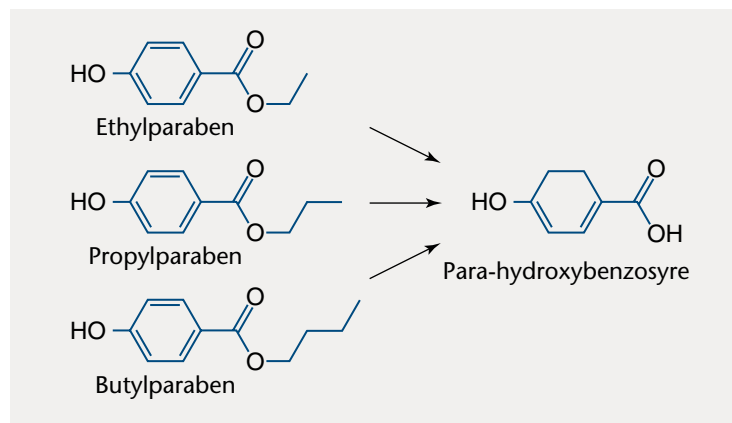
Figur 16. Oktylfenol.



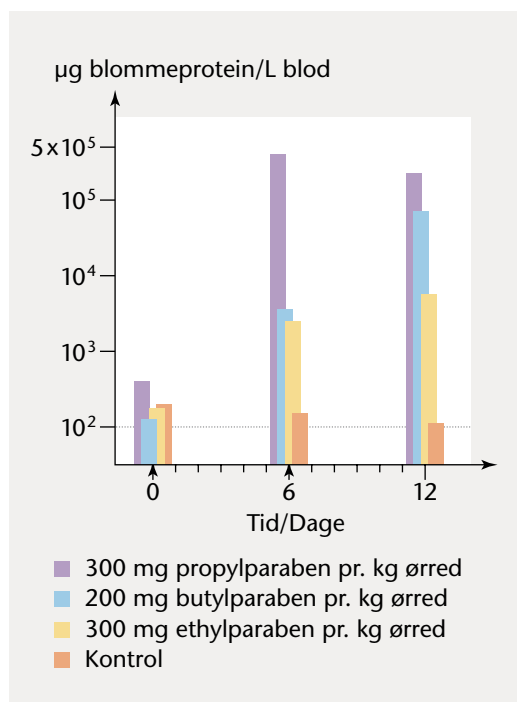
Figur 18. Koncentration af blommeprotein i blodet hos hanner af regnbueørred.



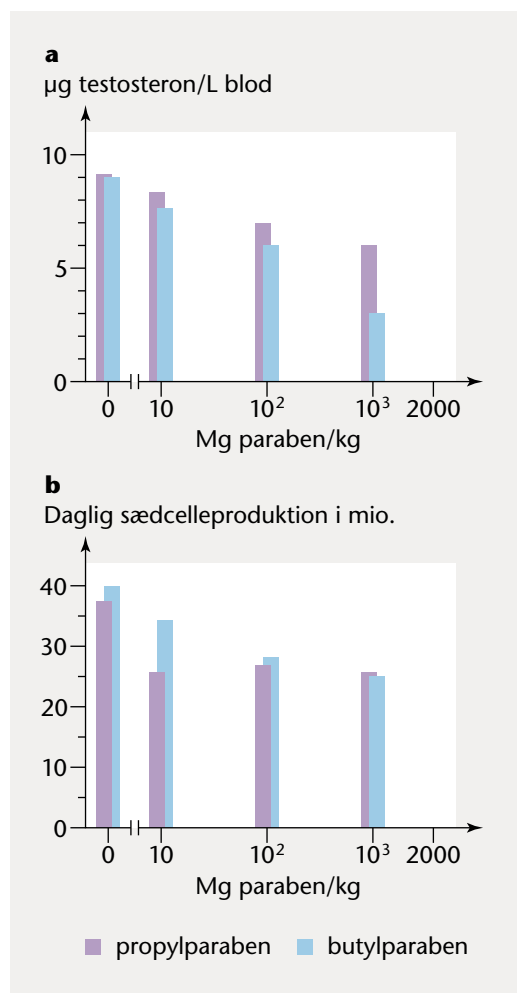
Figur 19. Intersex hos hanner i engelske floder.



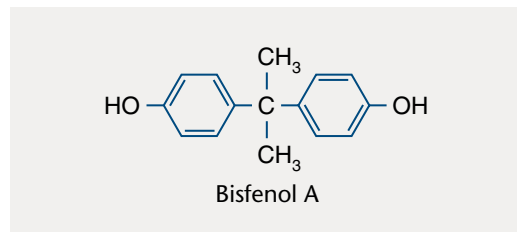
Figur 20. Parabener.



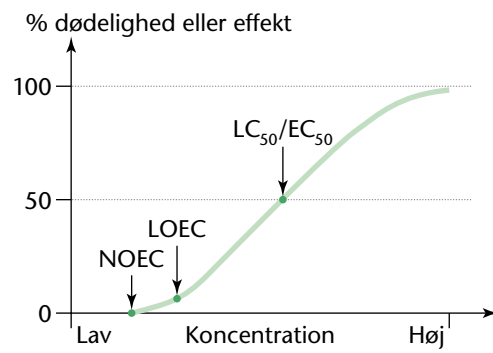
Figur 21. Forsøg med parabener og ørreder.



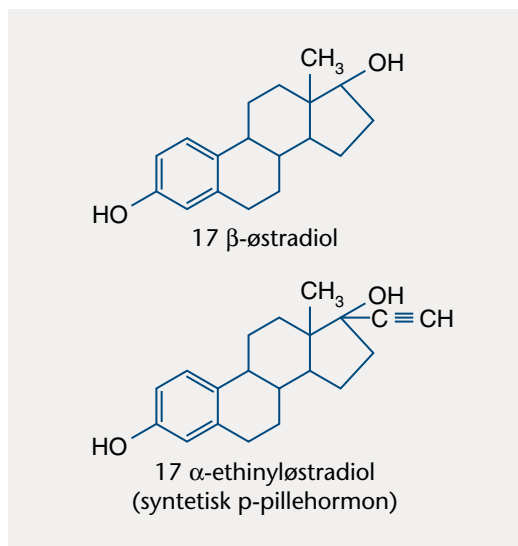
Figur 22. Parabeners effekt på hanrotter.



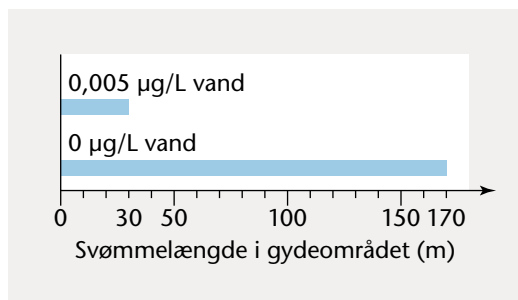
Figur 23. Bisfenol A.



Figur 24. Sammenhængen mellem et miljøfarligt stofs koncentration og virkning på forsøgsorganismen.

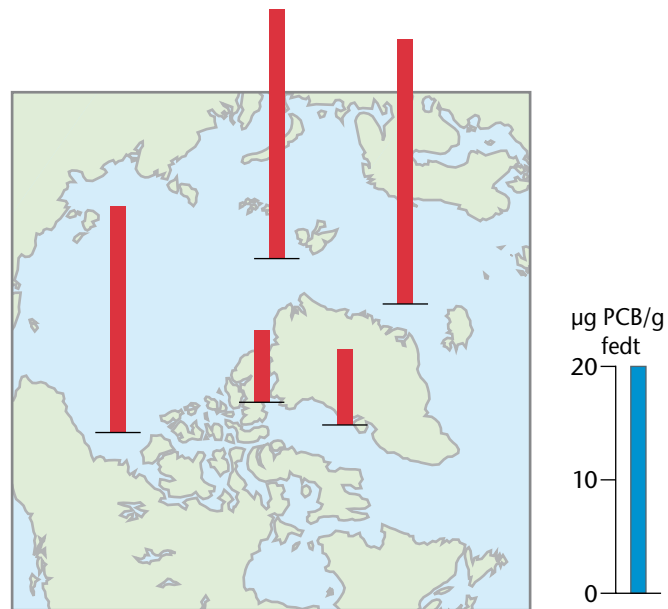


Figur 26. Naturligt og syntetisk østradiol.



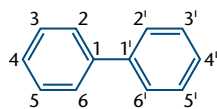
Figur 27. Hanzebrafisks svømmelængder.

Figur 29. PCB-fund i fedtvævet fra isbjørne i det arktiske område.	27
Figur 32. PCB's grundstruktur og udvalgte PCB-forbindelser.	28
Figur 33. Ophobning af PCB i de arktiske haves fødekæder.	29
Figur 34. Ophobning af PCB i et arktisk landområde i Canada.	30
Figur 35. Koncentrationen af PCB i fedtvæv fra arktiske land- og havpattedyr.	31
Figur 36. Binding af PCB til østrogenreceptor.	32
Figur 38. Total-PCB-indholdet i kvinders blod i arktiske områder sammenlignet med ikke-arktiske områder.	33
Figur 39. Skjoldbruskkirtlen.	34
Figur 40. Binding af PCB til transthyretin.	35
Figur 41. Thyroxin og et PCB-molekyle.	36
Figur 42. PCB målt i blodet.	37
Figur 43. Sammenhæng mellem PCB-niveau og andelen af bevægelige sædceller.	38
Figur 44. PCB og sandsynlighed for graviditet.	39
Figur 46. Udvikling i PCB-koncentrationen i torskelever i danske farvande.	40
Figur 47. Udviklingen i indholdet af PCB i modermælk i Danmark og Sverige.	41
Figur 48. Eksempel på havfødekæder.	42

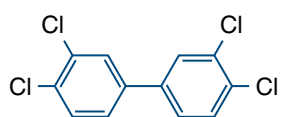


Figur 29. PCB-fund i fedtvævet fra isbjørne i det arktiske område.

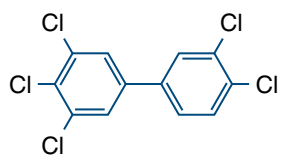
a



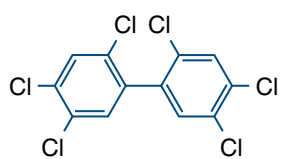
b



3,3',4,4'-tetraklorbifenyl

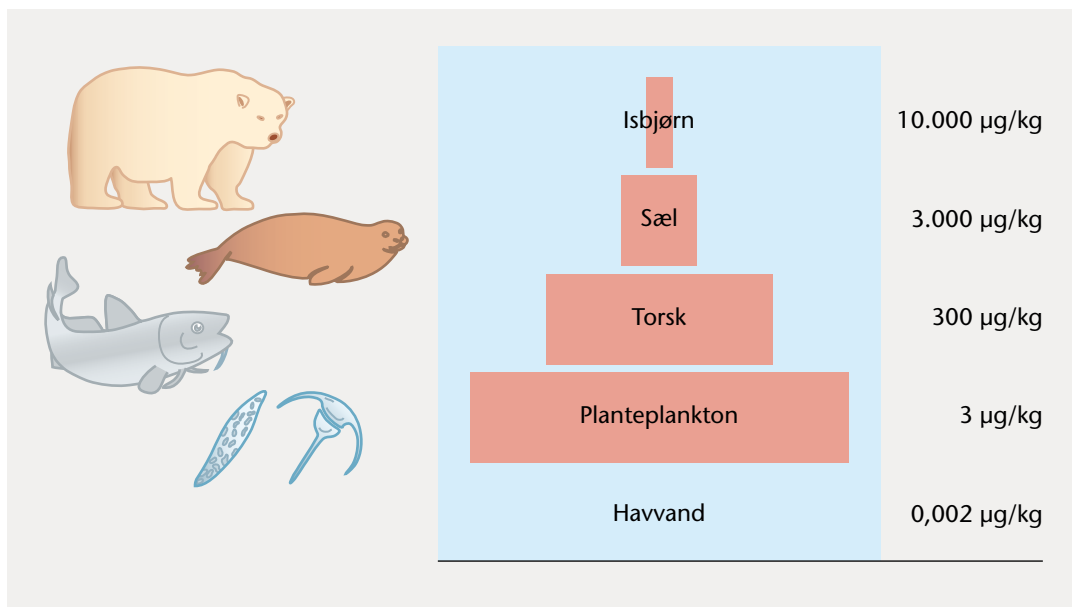


3,3',4,4',5-pentaklorbifenyl

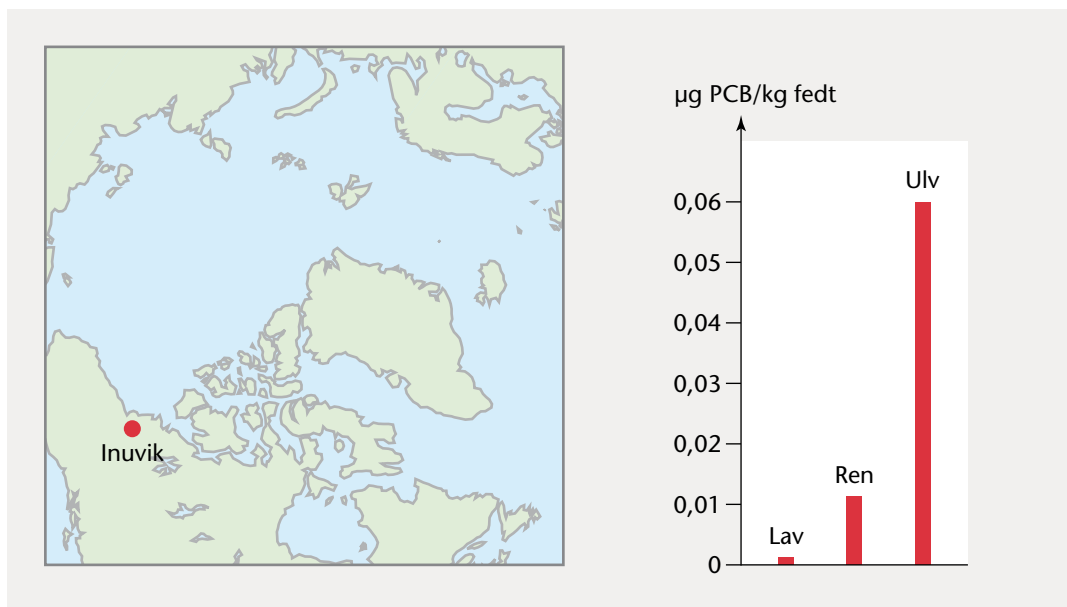


2,2',4,4',5,5'-hexaklorbifenyl (PCB-153)

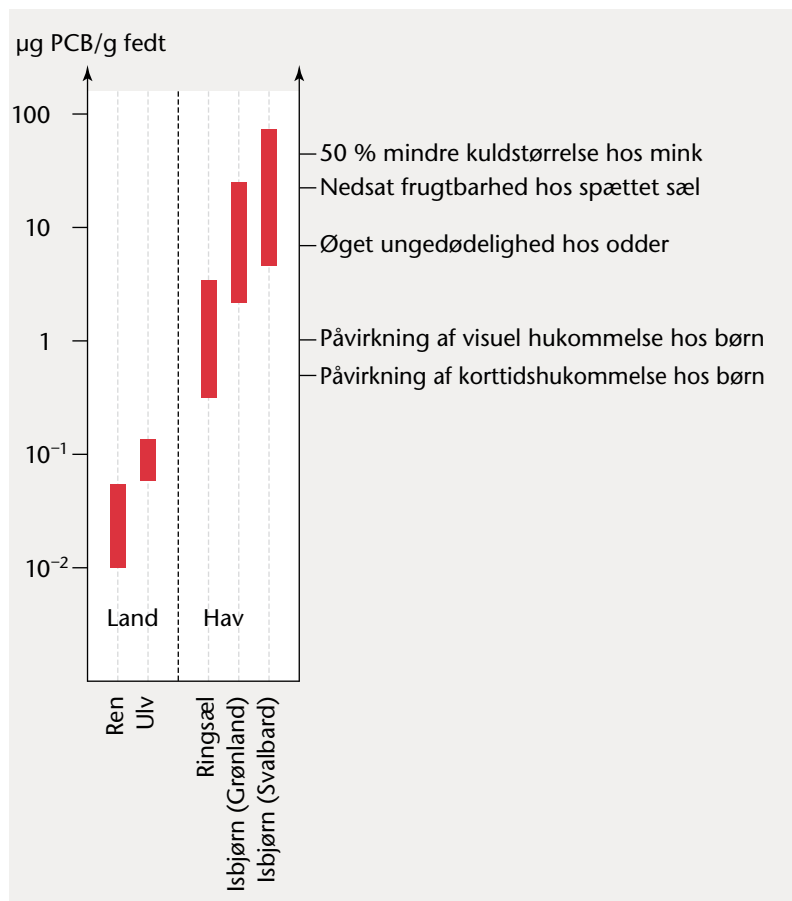
Figur 32. PCB's grundstruktur og udvalgte PCB-forbindelser.



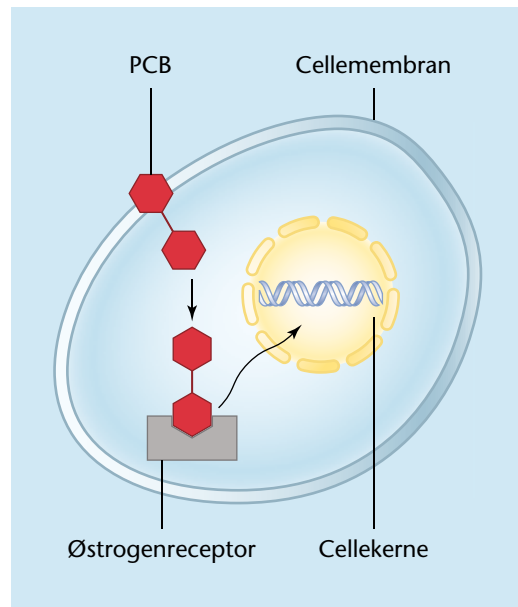
Figur 33. Ophobning af PCB i de arktiske haves fødekæder.



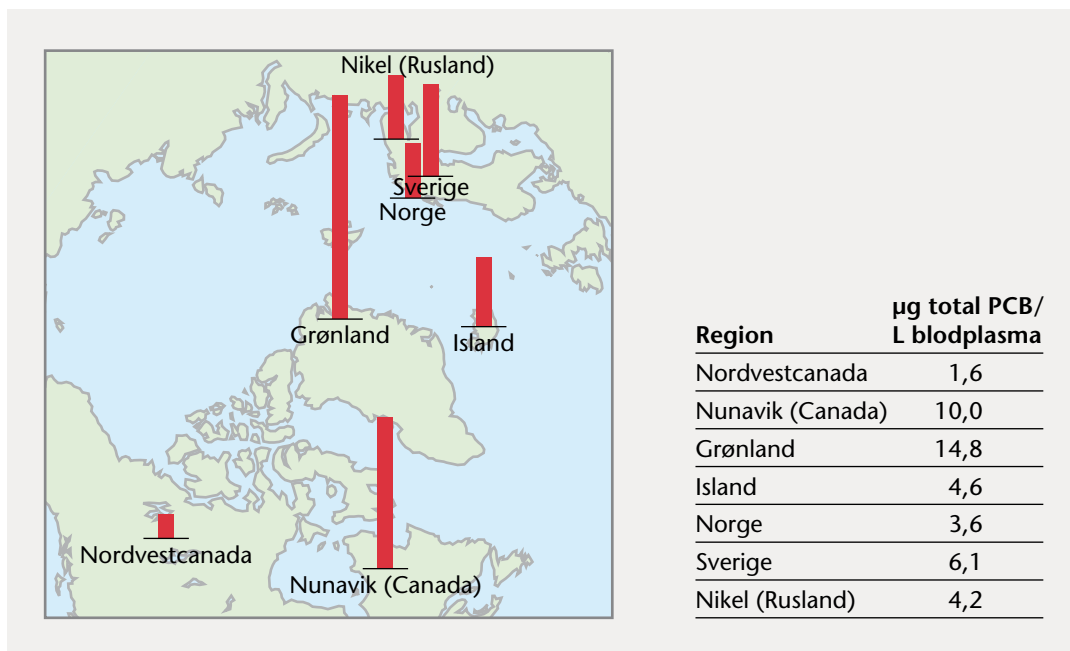
Figur 34. Ophobning af PCB i et arktisk landområde i Canada.



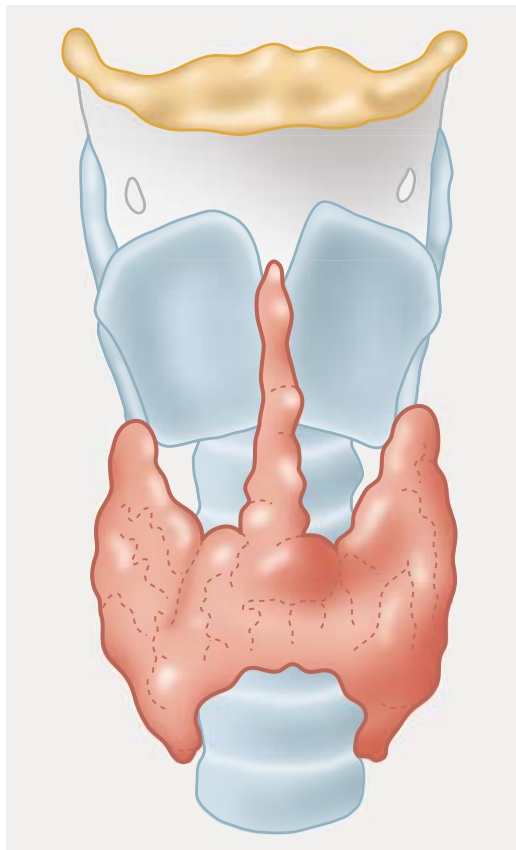
Figur 35. Koncentrationen af PCB i fedtvæv fra arktiske land- og havpattedyr.



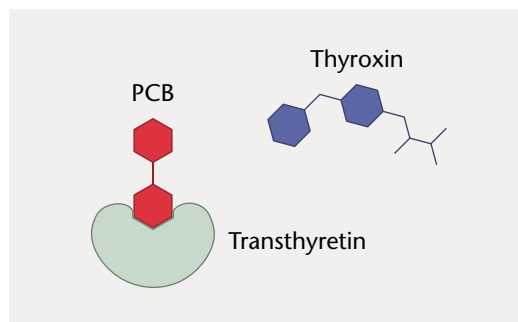
Figur 36. Binding af PCB til østrogenreceptor.



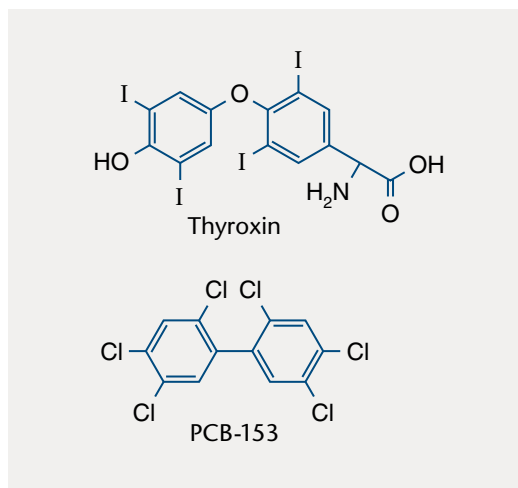
Figur 38. Total-PCB-indholdet i kvinders blod i arktiske områder sammenlignet med ikke-arktiske områder.



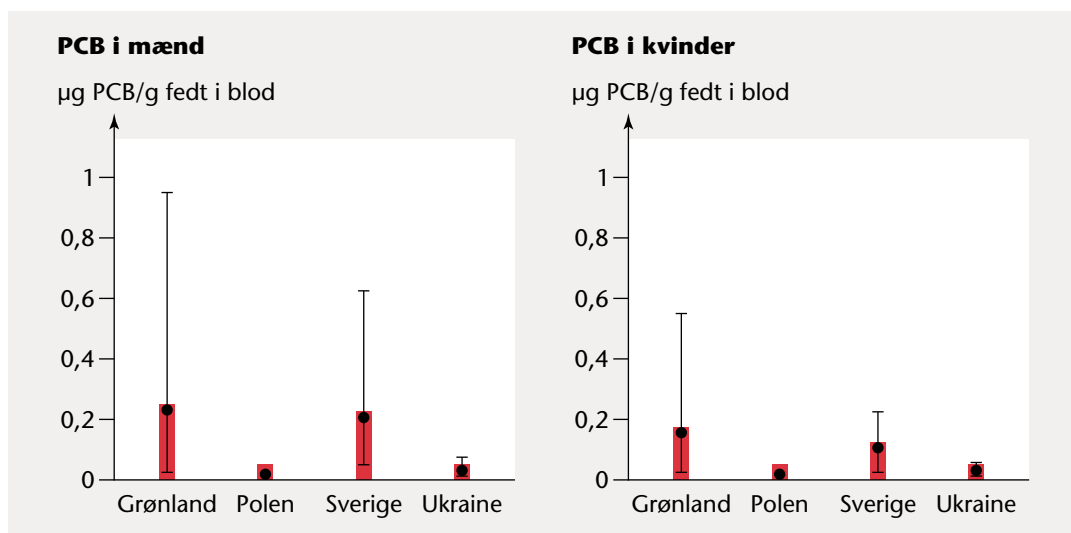
Figur 39. Skjoldbruskirtlen.



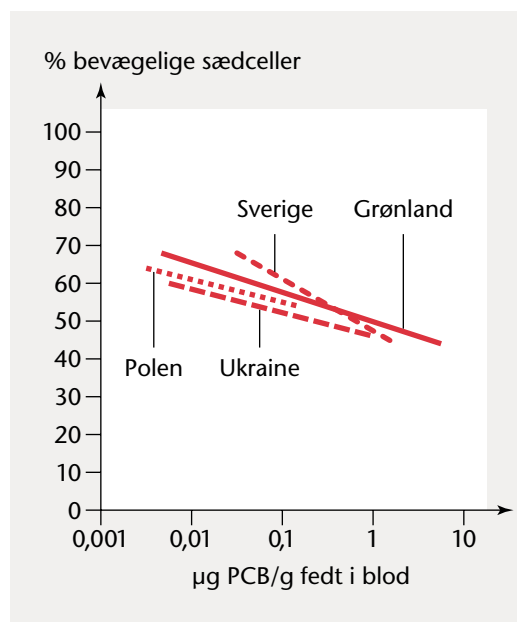
Figur 40. Binding af PCB til transthyretin.



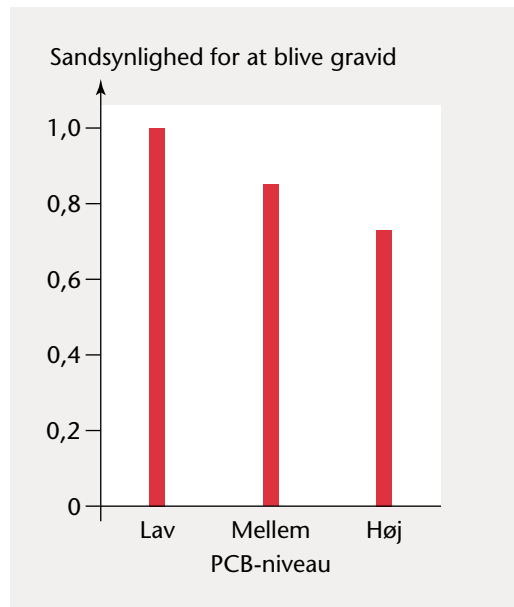
Figur 41. Thyroxin og et PCB-molekyle.



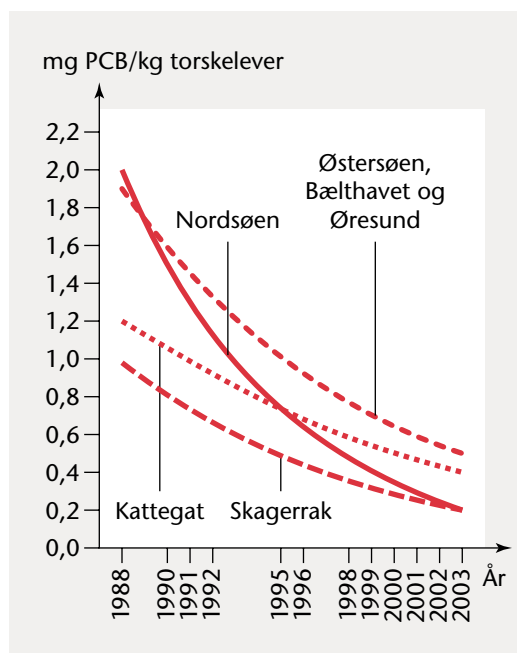
Figur 42. PCB målt i blodet.



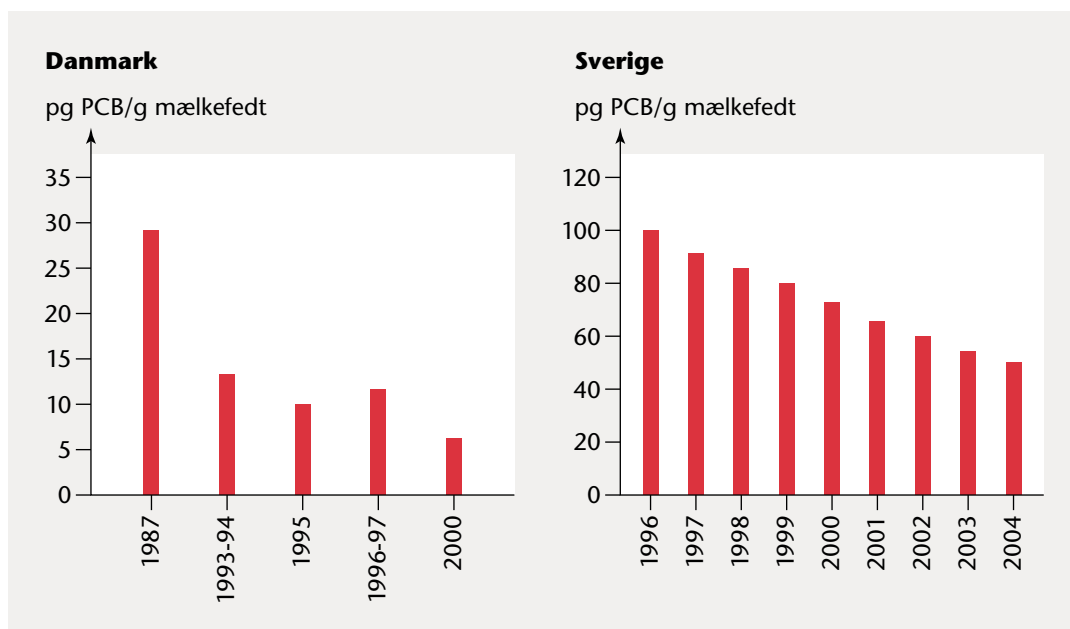
Figur 43. Sammenhæng mellem PCB-niveau og andelen af bevægelige sædceller.



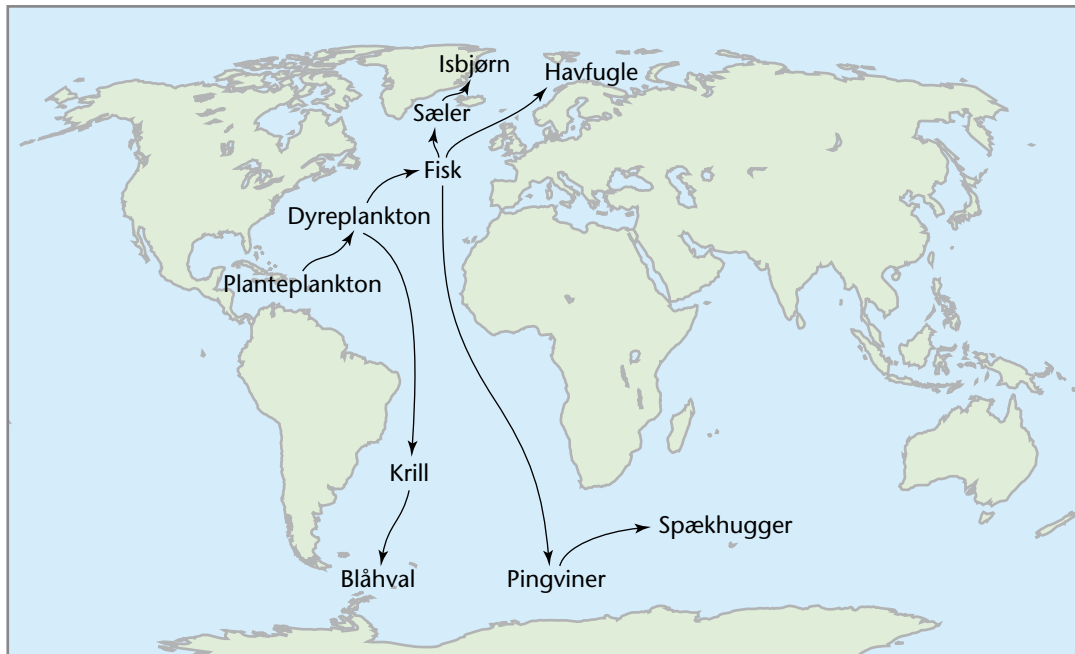
Figur 44. PCB og sandsynlighed for graviditet.



Figur 46. Udvikling i PCB-koncentrationen i torskalever i danske farvande.



Figur 47. Udviklingen i indholdet af PCB i modermælk i Danmark og Sverige.



Figur 48. Eksempel på havfødekæder.

Figur 50. Reaktion med brom. [44](#)

a [45](#)

Figur 51. Den kemiske opbygning af de meste udbredte bromerede flammehæmmere. [45](#)

b [45](#)

c [45](#)

Figur 52. Blod-hjerne-barrieren og moderkagen. [46](#)

Figur 53. Den kemiske lighed mellem thyroxin, PBDE og PCB. [47](#)

Figur 57. Udviklingen i indholdet af bromerede flammehæmmere i svenske kvinders modermælk. [48](#)

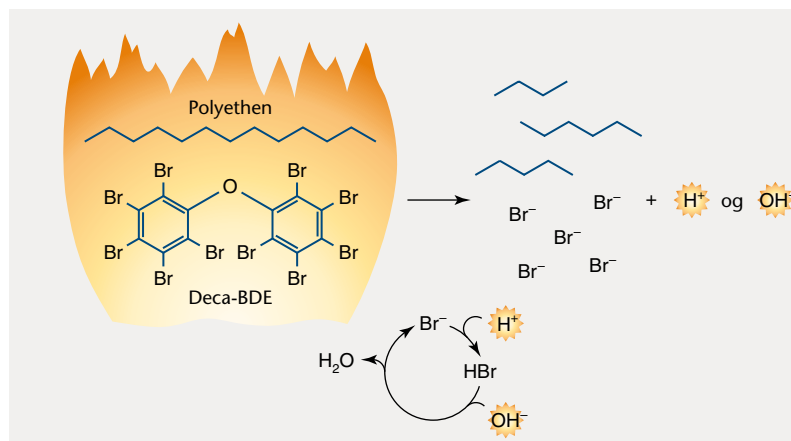
Figur 58. Additiv, synergistisk og antagonistisk effekt. [49](#)

Figur 59. Bromerede flammehæmmere og BMI. [50](#)

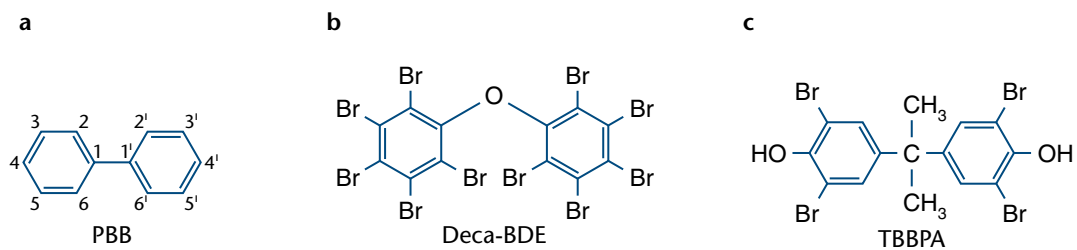
Figur 60. Koncentrationer af PBDE og PBB i spækprøver af marine dyr fra Grønland og Færøerne. [51](#)

Figur 61. De fremherskende vinde fra industricentrene. [52](#)

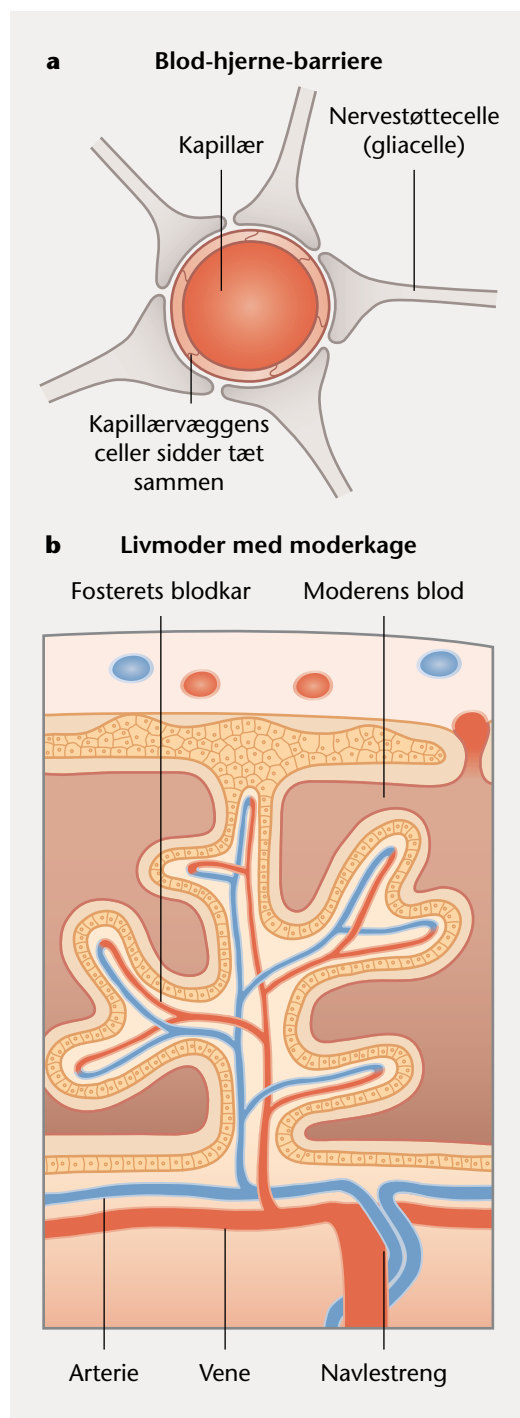
Figur 62. Citronsyre og eddikesyre. [53](#)



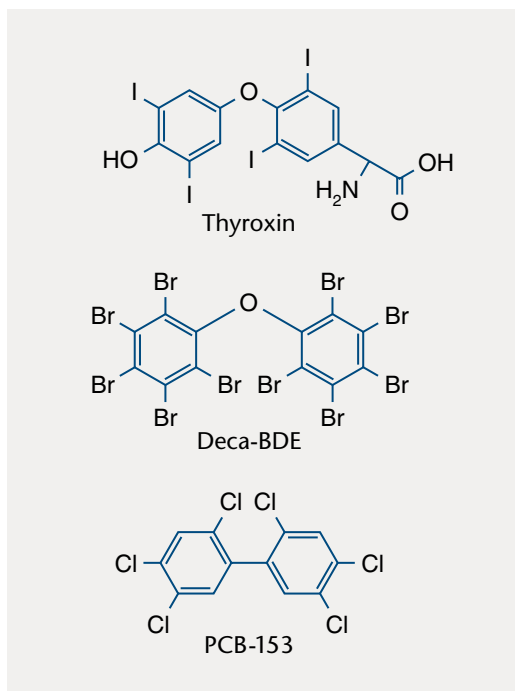
Figur 50. Reaktion med brom.



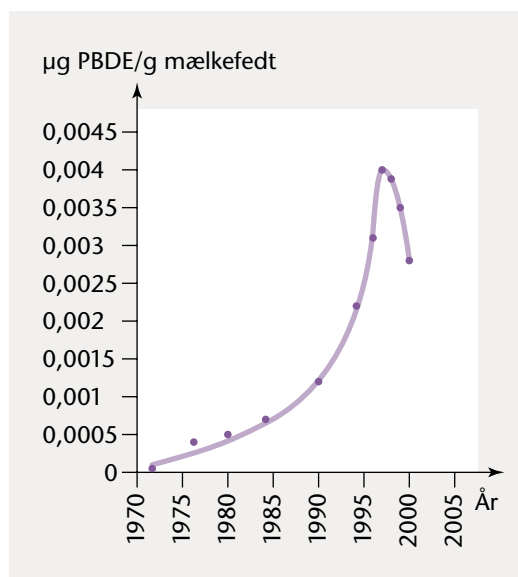
Figur 51. Den kemiske opbygning af de meste udbredte bromerede flammehæmmere.



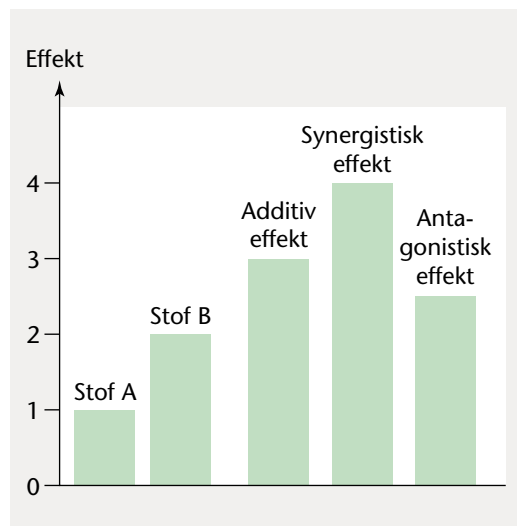
Figur 52. Blod-hjerne-barrieren og moderkagen.



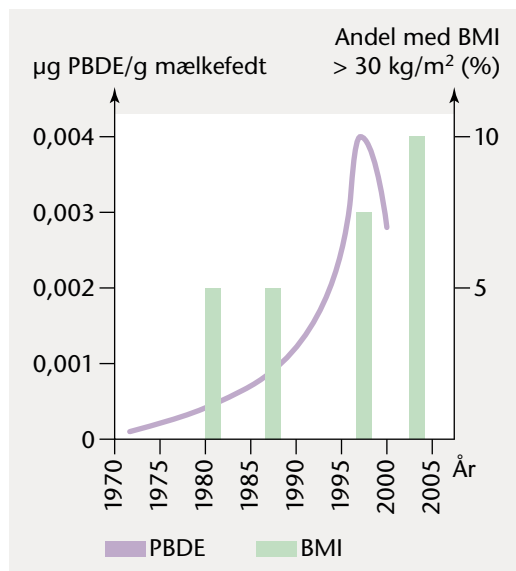
Figur 53. Den kemiske lighed mellem thyroxin, PBDE og PCB.



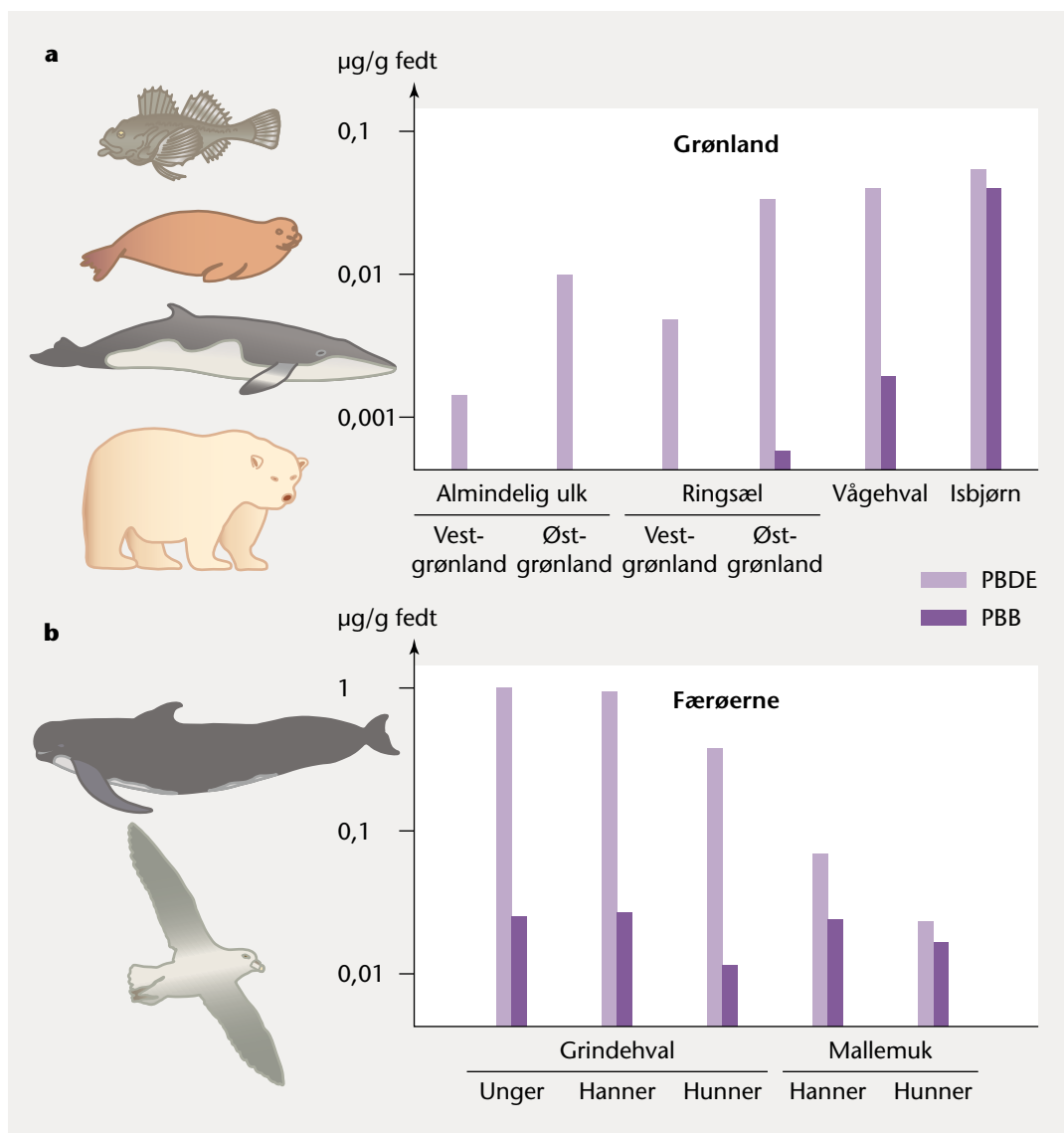
Figur 57. Udviklingen i indholdet af bromerede flammehæmmere i svenske kvinders modermælk.



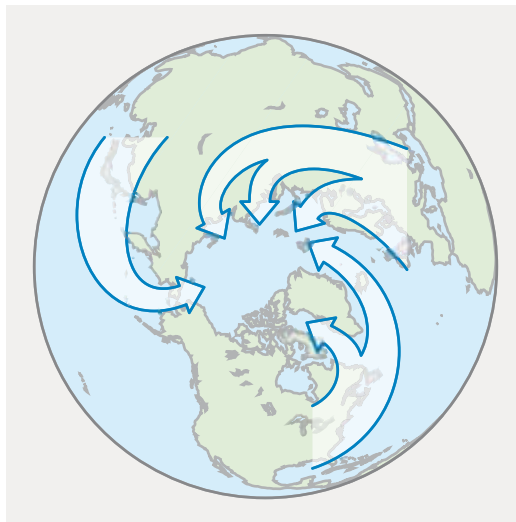
Figur 58. Additiv, synergistisk og antagonistisk effekt.



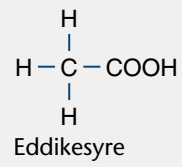
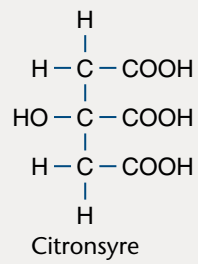
Figur 59. Bromerede flammehæmmere og BMI.



Figur 60. Koncentrationer af PBDE og PBB i spækprøver af marine dyr fra Grønland og Færøerne.



Figur 61. De fremherskende vinde fra industricentrene.

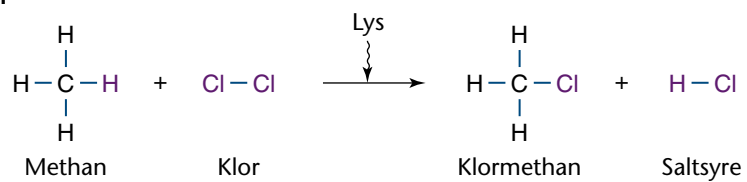


Figur 62. Citronsyre og eddikesyre.

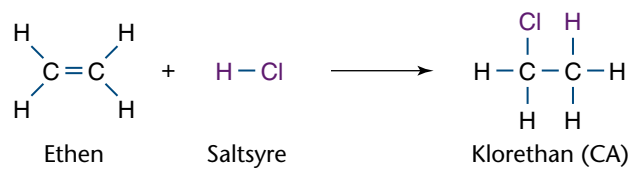
Figur 64. Substitution og addition.	55
Figur 65. De almindeligste klorerede opløsningsmidler.	56
Figur 67. Spredning af klorerede opløsningsmidler.	57
Figur 68. Klorerede opløsningsmidlers fordelingskonstant og kogepunkt.	58
Figur 69. Abiotisk deklorering af 1,1,1-TCA.	59
Figur 70. Anaerob reduktiv deklorering.	60
Figur 71. Cis-formen og trans-formen af diklorethylen.	61
Figur 72. Nedbrydning vha. haloinspirerende bakterier.	62
Figur 74. PCR.	63
Figur 75. Elektroforeseapparat med buffer.	64
Figur 76. Plasmidoverførsel mellem bakterier.	65
Figur 77. Laboratorieforsøg med nedbrydning af TCE.	66
Figur 78. Forsøgsoversigt.	67
Figur 80. Laboratorieforsøg hvor nedbrydning af TCE undersøges.	68
Figur 81. Nedbrydning i overvågningsboring.	69
Figur 82. Metode til beregning af molfraktion.	70
Figur 83. Danske grænseværdier for klorerede opløsningsmidler og deres nedbrydningsprodukter.	71
Figur 84. Spredning og akkumulering af giftstof.	72
Figur 85. Dosis-responskurve.	73
Figur 86. Fysiologiske påvirkninger ved forskellige koncentrationer af PCE.	74
Figur 87. Fald i PCE-forbruget i Danmark.	75
Figur 88. Forbruget af klorerede opløsningsmidler og grundvandets alder.	76

FFigur 65. De almindeligste klorerede opløsningsmidler.	
Figur 67. Spredning af klorerede opløsningsmidler.	
Figur 68. Klorerede opløsningsmidlers fordelingskonstant og kogepunkt.	
Figur 69. Abiotisk deklorering af 1,1,1-TCA.	
Figur 70. Anaerob reduktiv deklorering.	
Figur 71. Cis-formen og trans-formen af diklorethylen.	
Figur 72. Nedbrydning vha. haloinspirerende bakterier.	
Figur 74. PCR.	
Figur 75. Elektroforeseapparat med buffer.	
Figur 76. Plasmidoverførsel mellem bakterier.	
Figur 77. Laboratorieforsøg med nedbrydning af TCE.	
Figur 78. Forsøgsoversigt.	
Figur 80. Laboratorieforsøg hvor nedbrydning af TCE undersøges.	
Figur 81. Nedbrydning i overvågningsboring.	
Figur 82. Metode til beregning af molfraktion.	
Figur 83. Danske grænseværdier for klorerede opløsningsmidler og deres nedbrydningsprodukter.	
Figur 84. Spredning og akkumulering af giftstof.	
Figur 85. Dosis-responskurve.	

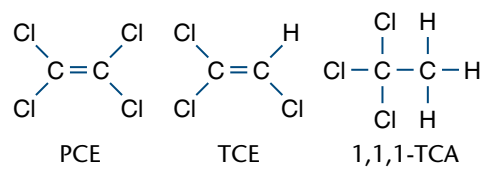
Substitution



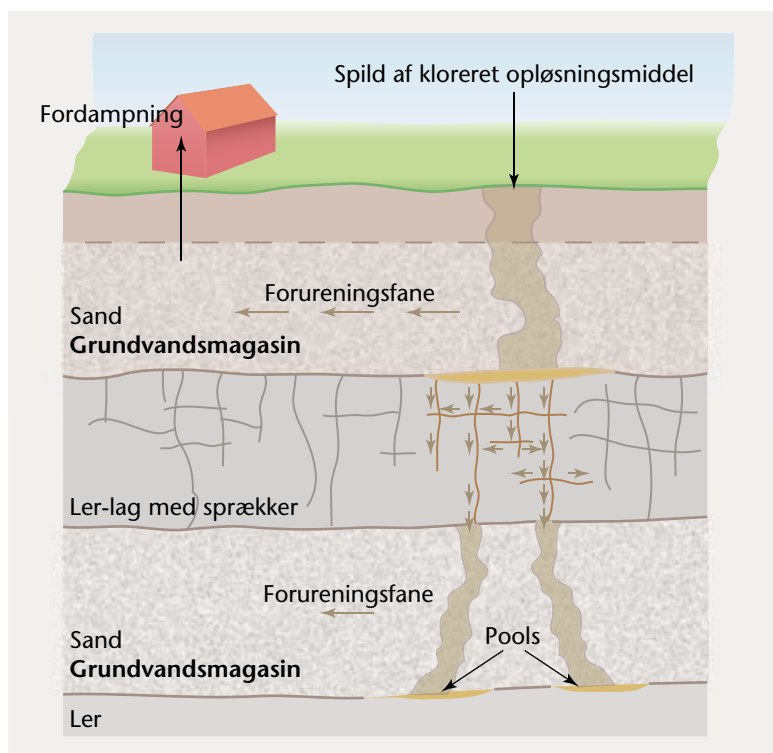
Addition



Figur 64. Substitution og addition.



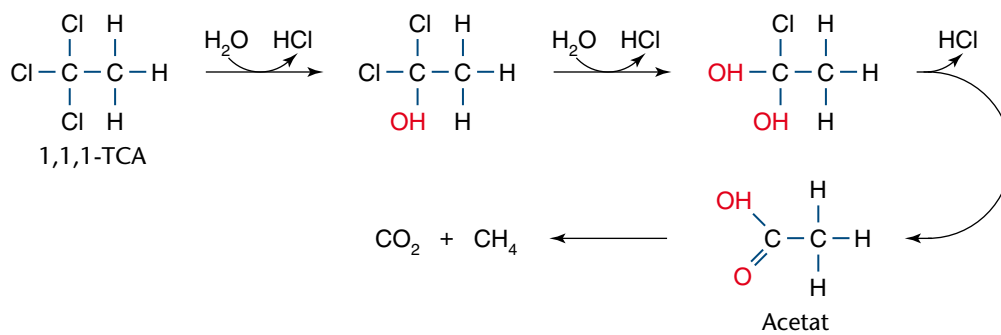
Figur 65. De almindeligste klorerede opløsningsmidler.



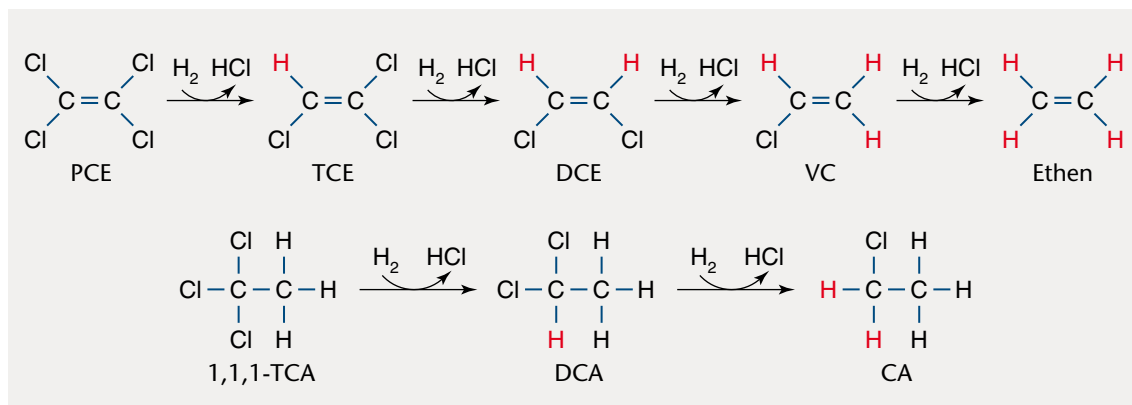
Figur 67. Spredning af klorerede opløsningsmidler.

	CH ₄ Methan	CH ₃ Cl Monoklor- methan	CH ₂ Cl ₂ Diklor- methan	CHCl ₃ Triklor- methan	CCl ₄ Tetraklor- methan	1,1,1-TCA	PCB
Log K _{ow}	-	0,91	1,25	1,97	2,64	2,49	> 8
Kogepunkt (°C)	-164	-24	40	62	77	74,1	171-320

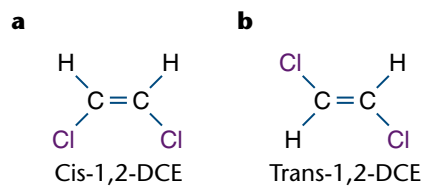
Figur 68. Klorerede opløsningsmidlers fordelingskonstant og kogepunkt.



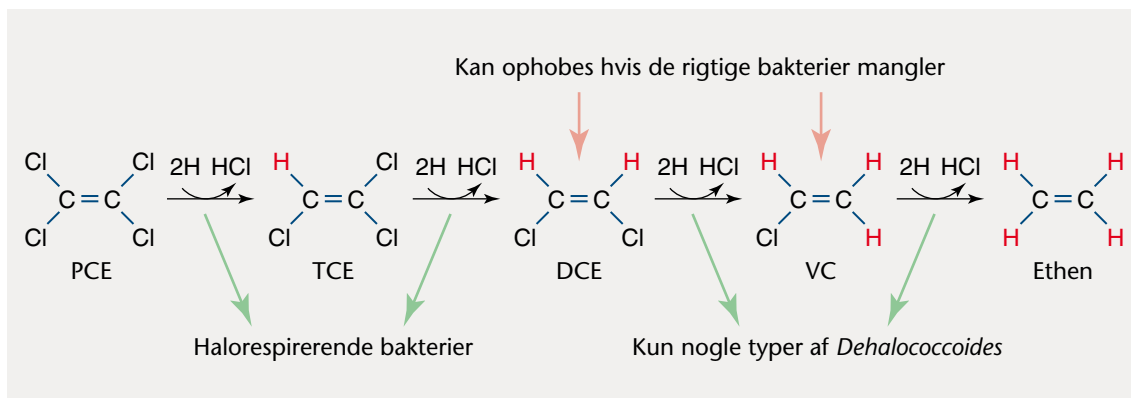
Figur 69. Abiotisk deklorering af 1,1,1-TCA.



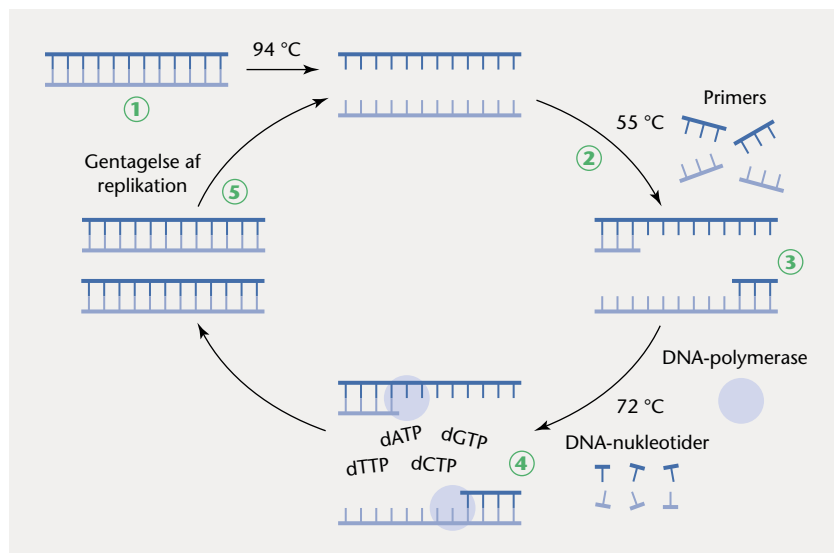
Figur 70. Anaerob reduktiv deklorering.



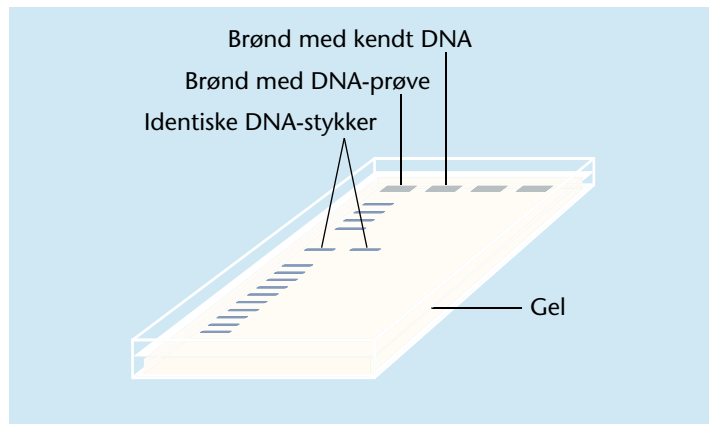
Figur 71. Cis-formen og trans-formen af diklorethylen.



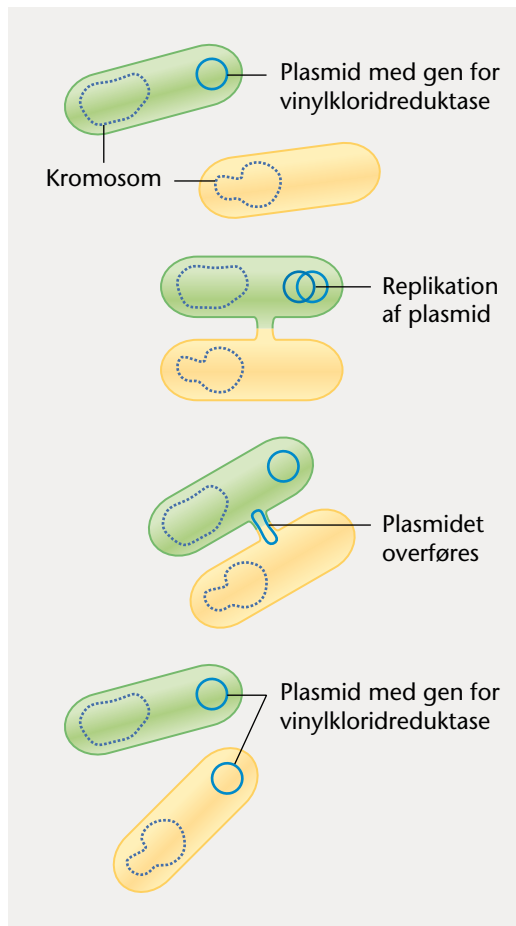
Figur 72. Nedbrydning vha. halo-respirerende bakterier.



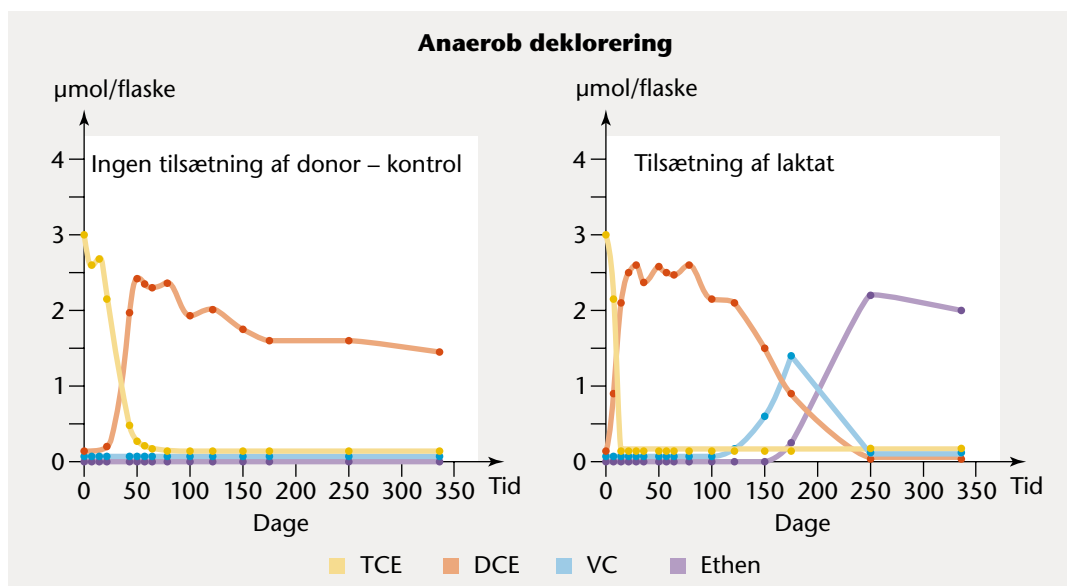
Figur 74. PCR.



Figur 75. Elektroforeseapparat med buffer.



Figur 76. Plasmidoverførsel mellem bakterier.



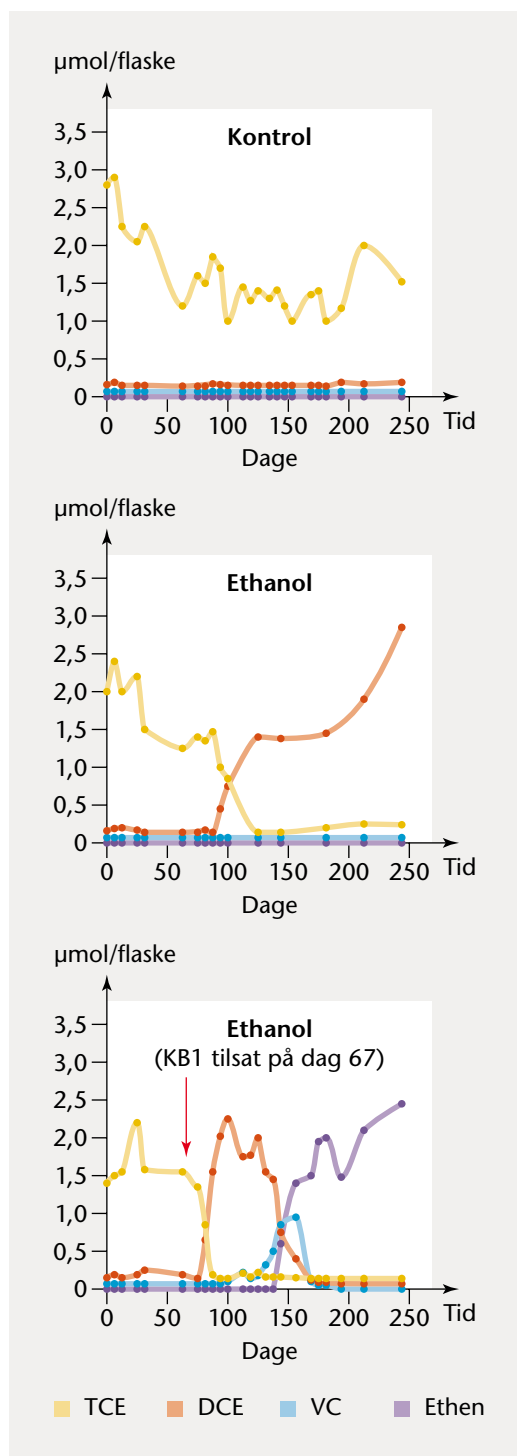
Figur 77. Laboratorieforsøg med nedbrydning af TCE.

Boring – sediment	Boring 1
Dybde i m	11,0-11,5
Sediment type	Sand
Grundvand fra boring	Boring 1
Filterdybde i m	10,5-11,5
Start konc. af TCE i forsøg (µg/L)	1550
Dato for forsøg opsat	14.02.2008
Tilsat bakterier	20.04.2008

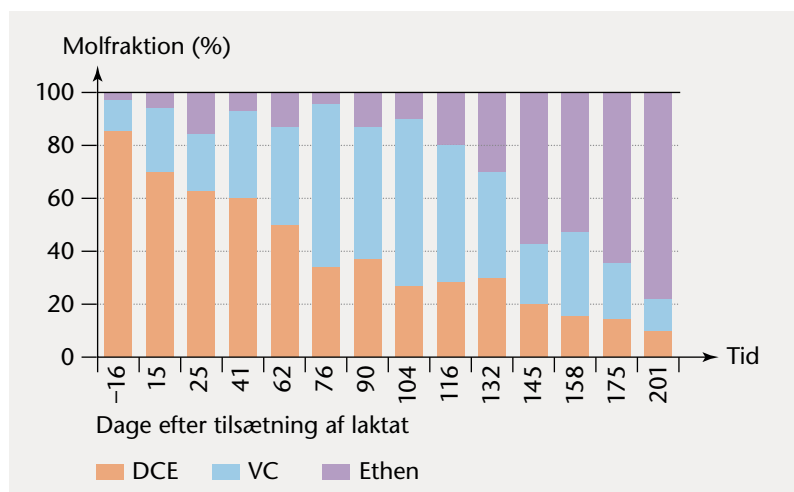
Nr. Forsøg

1	Kontrol (ingen tilsætning af donor)	Flaske 1
2	Kontrol (ingen tilsætning af donor)	Flaske 2
3	Tilsætning af ethanol	Flaske 3
4	Tilsætning af ethanol	Flaske 4
5	Tilsætning af ethanol + bakterier	Flaske 5
6	Tilsætning af ethanol + bakterier	Flaske 6

Figur 78. Forsøgsoversigt.



Figur 80. Laboratorieforsøg hvor nedbrydning af TCE undersøges.



Figur 81. Nedbrydning i overvågningsboring.

Molkoncentration og molfraktion

$$\text{Molkonc. (}\mu\text{mol/L)} = \frac{\text{Konc. (}\mu\text{g/L)}}{\text{Molvægt (}\mu\text{g}/\mu\text{mol)}}$$

Man skal kende molkoncentrationerne af alle stoffer fra moderstof til ethen for at bestemme molfraktionen af et enkelt stof.

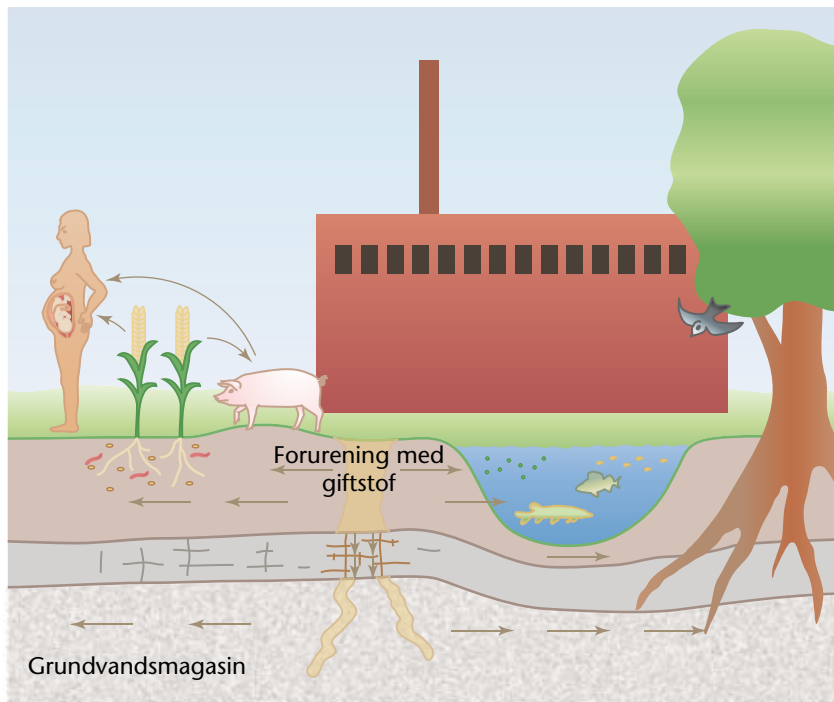
Beregning af molfraktion af DCE når TCE er moderstof:

$$\text{Molfraktion (\%)} = \frac{\text{DCE}}{\sum \text{TCE} + \text{DCE} + \text{VC} + \text{ethen}} \times 100 \%$$

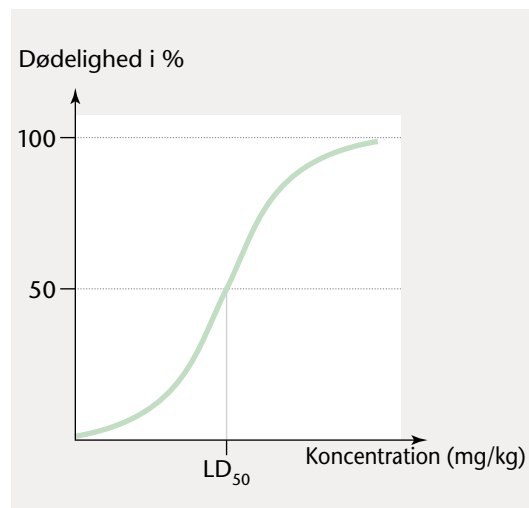
Figur 82. Metode til beregning af molfraktion.

Stof	Grundvand	Jord	Luft	Drikkevand	
				Ved afgang fra vandværk	I forbrugers vandhane
	µg/L	mg/kg	mg/m ³	µg/L	µg/L
PCE	1	5	0,006	1	1
TCE	1	5	0,006	1	1
DCE	1	85	0,4	1	1
VC	0,2	0,4	4×10^{-5}	0,3	0,5
1,1,1-TCA	1	200	0,5	1	1
DCA	-	-	-	1	1
CA	-	-	-	1	1
Sum af klorerede opløsningsmidler	1	-	-	3	3

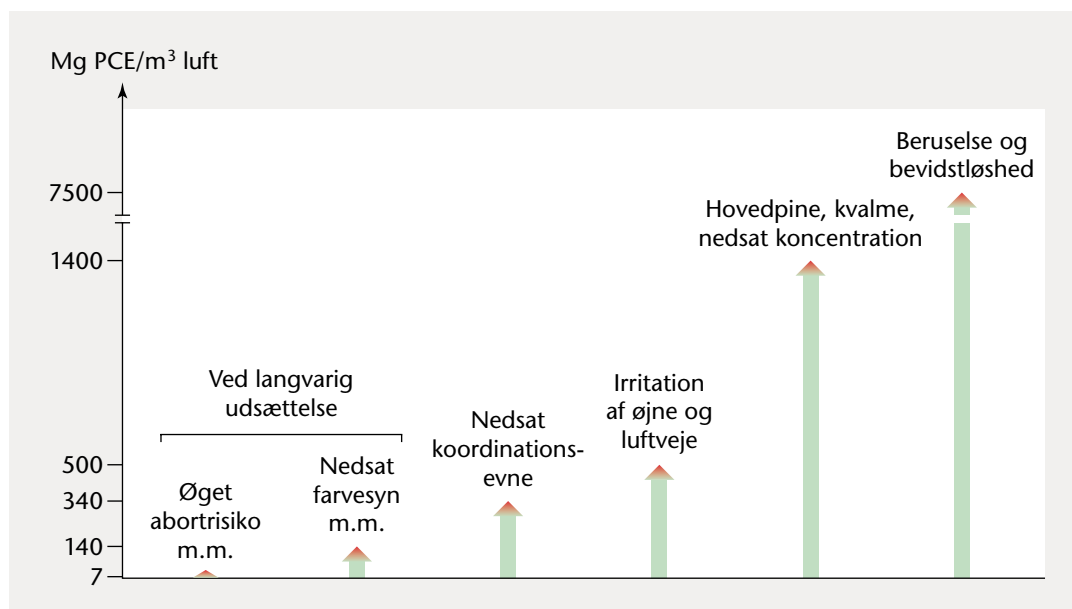
Figur 83. Danske grænseværdier for klorerede opløsningsmidler og deres nedbrydningsprodukter.



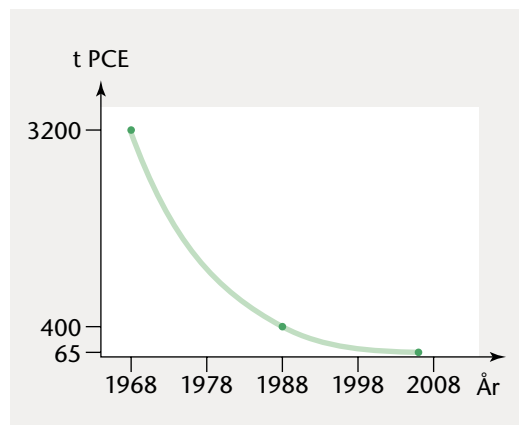
Figur 84. Spredning og akkumulering af giftstof.



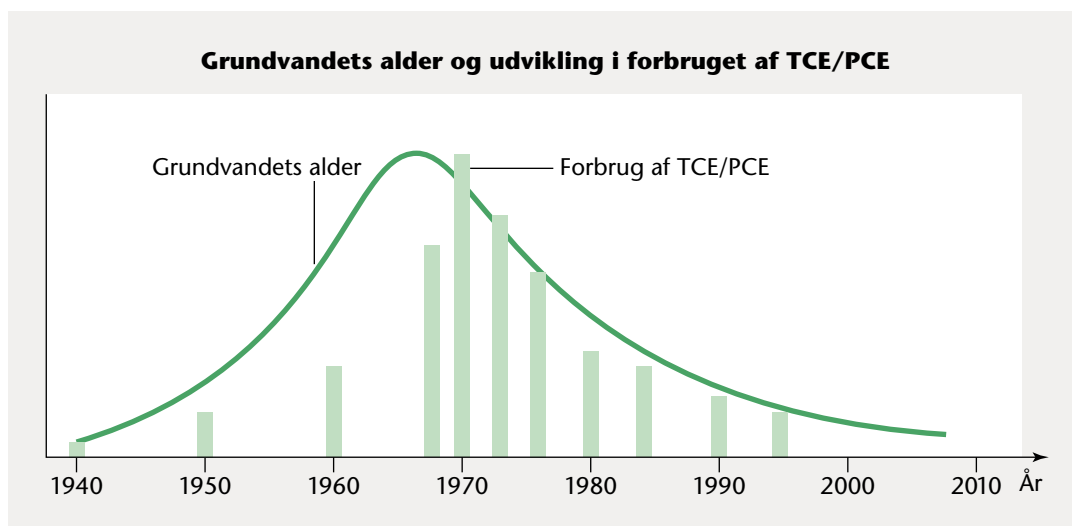
Figur 85. Dosis-responskurve.



Figur 86. Fysiologiske påvirkninger ved forskellige koncentrationer af PCE.



Figur 87. Fald i PCE-forbruget i Danmark.



Figur 88. Forbruget af klorerede opløsningsmidler og grundvandets alder.