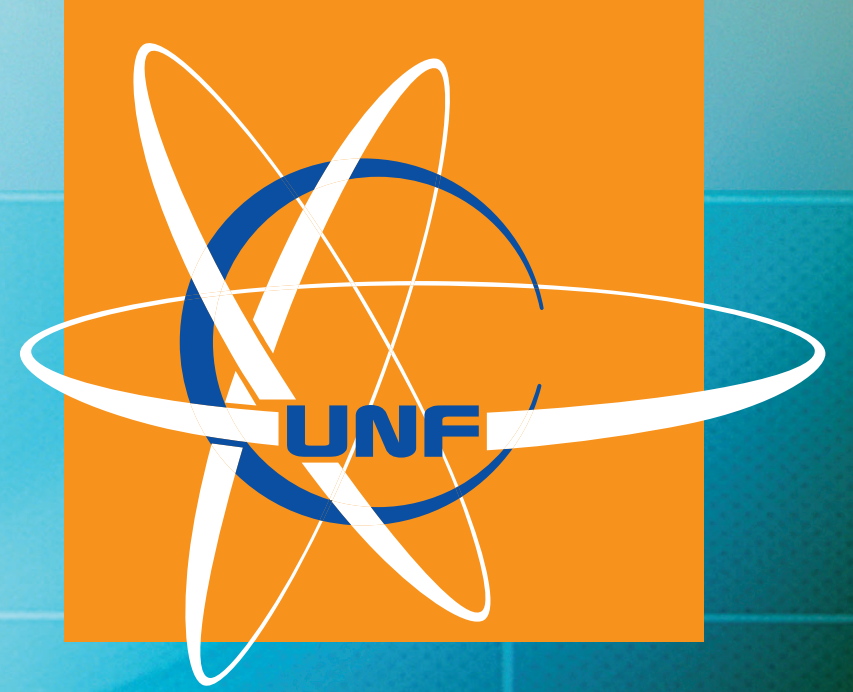


UNF



Retsmedicin i Naturfagsundervisningen:

Sagen opklaret

scan

identify

matching

Odense

Ungdommens Naturvidenskabelige Forening

Odense.unf.dk



Volume 11

Tekst og grafik er udarbejdet af: Ahrenkiel, Linda; Worm-Leonhard, Martin; Larsen, Anders Foller; Füchtbauer, Laila ; Jarnhus, Philip Roland; Petersen, Jeppe Willads; Lautrup-Larsen, Cecilie Hovitz; Hansen, Dennis Lund; Hyldgaard, Mette Gade; Midtiby, Henrik Skov; Laursen, Johan Sund.

Retsmedicin i Naturfagsundervisningen - Sagen opklaret, elevhæfte

©2012 Center for Naturvidenskabernes og Matematikkens Didaktik,
Syddansk Universitet

Printed in Denmark, by Pprint and Sign, Odense

ISBN 978-87-92321-12-X

Udgivet af:
Det Naturvidenskabelige Fakultet
Syddansk Universitet
Campusvej 55
5230 Odense M

I samarbejde med
Ungdommens Naturvidenskabelige Forening og Center for Naturvidenskabernes og Matematikkens Didaktik

www.sdu.dk/namadi

Undervisningsforløbet og tilhørende forsøg udføres på eget ansvar.
Der tages forbehold for fejl.



Retsmedicin i Naturfagsundervisningen



Sagen opklaret





Læseguide

Dette kompendium er hjørnestenen i undervisningen i relation til forløbet *Retsmedicin i Naturfagsundervisningen: Sagen opklaret*. I dette hæfte har vi samlet alt det, som er vigtigt, at du har kendskab til. Det er derfor vigtigt, at du får læst i kompendiet både før og under forløbet, for at sikre dig det fulde udbytte af undervisningen.

Undervisnings- forløbet og materialet er blevet udviklet af Ungdommens Naturvidenskabelige Forening (UNF) i forbindelse med en science camp afholdt i sommeren 2011 på Syddansk Universitet, Odense.

Læseguide

Indholdet i kompendiet er opbygget i værktøjskasser: Den kriminaltekniske værktøjskasse, den retsmedicinske værktøjskasse og den retskemiske værktøjskasse. Værktøjskasserne repræsenterer hhv. fysik, biologi og kemi. Værktøjskasserne udgør vigtig viden, når du skal arbejde med forbrydelser set gennem naturvidenskabens briller. Foruden de tre omtalte værktøjskasser indeholder kompendiet en hjælpeværktøjskasse med yddybende informationer og laboratorievejledninger.

Kompendiet er opbygget i 7 dele:

- Del 1 indleder kompendiet med et kapitel om processen fra forbrydelse til forklaring.
- Del 2, 3 og 4 introducerer de naturvidenskabelige værktøjer som hhv. kriminalteknikere, retsmedicinere og retskemikere benytter, og som du vil komme til at arbejde med. Her findes den basale viden om opklaring af forbrydelser ud fra et naturvidenskabeligt perspektiv, beskrevet vha. eksempler og dybdegående forklaringer.
- Del 5 rummer teori og baggrundsinformation om nogle af de metoder og processer du vil komme til at arbejde med.
- Del 6 rummer øvelsesvejledninger og sikkerhedsinformation
- Del 7 indeholder en ordliste over centrale ord og begreber samt en facitliste til de opgaver, som findes i dette hæfte.

Efter hver del er der plads til dine egne noter. Kompendiet indeholder røde definitions-bokse og grønne fokus-bokse, som har til formål at skabe overblik samt at perspektivere teori og praksis. Desuden er der undervejs indlagt nogle opgaver i blå bokse, så du kan teste dig selv i de centrale koncepter, som introduceres undervejs. Sidst, men ikke mindst er der gule bokse som forklarer de iagttagelser, du ser i laboratoriet.

Rigtig god læselyst





Indhold

Læseguide og praktiske oplysninger	5
I Fra forbrydelse til forklaring	11
1 Introduktion til Del I	11
2 Opklaringsforløbet i en kriminalsag	12
II Kriminaltekniske værktøjer	19
3 Introduktion til Del II	19
4 Bestemmelse af dødstidspunktet	19
4.1 De sikre dødstegn	20
4.2 Legemstemperaturen bestemmer dødstidspunktet	22
4.3 Biokemisk bestemmelse af dødstidspunktet	24
5 Trafikfysik	24
6 Hvor kom skuddet fra?	29
6.1 Blodspor sladrer	30
7 Diffusion	33
7.1 Random walk	34
7.2 Opsummering	37
7.3 Diffusionsdrevet udbredelse i to dimensioner	38
III Retsmedicinske værktøjer	43
8 Introduktion til Del III	43
9 Nyrerne	43
10 Nervesystemet	47
10.1 Det autonome nervesystem	48
10.2 Det sympatiske nervesystem	49
10.3 Det parasympatiske nervesystem	50
11 Hjertet	52
11.1 Hjertefysiologi	53
12 Lungerne	54
13 Farmakologi og toksikologi	56
13.1 Farmakodynamik	57



13.2 Sammenhængen mellem dosis og virkning	57
14 Farmakokinetik	61
IV Retskemiske værktøjer	65
15 Introduktion til Del IV	65
16 Uorganisk stofidentifikation	67
16.1 Opløselighed	67
16.2 Flammefarver	69
17 Organisk stofidentifikation	71
17.1 Kromatografiske metoder	73
V Hjelpeværktøjer	79
18 Introduktion til Del V	79
19 Hvad er varme?	79
19.1 Varmeledning	80
19.1.1 Konduktion	80
19.1.2 Konvektion	81
19.1.3 Stråling	81
19.2 Kroppens varmetab til omgivelserne	82
19.3 Kølekurve	83
19.4 Varmetransport i kroppen	86
19.5 Betydningen af tøj, vand og andre forstyrrelser	87
20 Formelsamling til fysik	88
20.1 Fysiske størrelser	88
20.2 Kinematik	88
20.3 Dynamik	89
21 Kromatografi	90
21.1 TLC	90
21.2 Gas kromatografi	91
22 Massespektroskopi	94
VI Laboratorievejledninger	99
23 Introduktion til Del VI	99
24 Findestedsundersøgelse	99
24.1 Opgaver på findestedet	100
25 Sikkerhed i det kemiske laboratorium	102



26 Øvelsesvejledning: Nyrenes funktion	104
26.1 Teori	104
26.2 Praktisk udførelse	105
26.2.1 Bestemmelse af klorid i urin	105
27 Uorganisk identifikation	107
27.1 Praktiske detaljer og ordforklaring	108
27.2 Arbejdsgangen i uorganisk stofidentifikation	109
27.2.1 Forprøver	109
27.2.2 Farveløs analyse	110
27.2.3 Farvet analyseopløsning	114
28 Øvelse: Tyndtlagskromatografi	119
28.1 Forberedelse af løbekar	119
28.2 Prøveforberedelse	120
28.3 Prøvepåsætning	120
28.4 Kørsel af pladen	120
28.5 Fremkaldelse / visualisering af pladen, og beregning af R_f - værdi	120
28.6 Udledning af stofidentitet	121
29 Vejledning i kvalitativ organisk stofidentifikation	122
29.1 Indledende iagttagelser	122
29.2 Indledende kemiske undersøgelser	123
29.3 Opløselighedsforsøg	124
29.4 Bestemmelse af funktionelle grupper	125
30 Øvelsesvejledning: Diffusion	128
30.1 Bestemmelse af diffusionskonstant	128
30.2 Cirkelmønstre	128
30.3 Triangulering	128
31 Øvelsesvejledning: Varmetransport	130
31.1 Udstyr	130
31.2 Reference	130
31.3 Isoleret afkøling	130
31.4 Dobbeltisoleret afkøling	130
31.5 Afkøling i vand	131
31.6 Isoleret afkøling i vand	131
31.7 Træk	131
VII Appendiks	135
32 Opgavebesvarelser	135
33 Kilder til figurer	137
34 Ordliste	140





1 Introduktion til Del I

Den populære tv-serie CSI, *Crime Scene Investigation* handler om en flok eksperter, som opklarer forbrydelser ud fra spor på gerningsstedet. Resterne af et fingeraftryk, nogle få milligram størknet blod, et enkelt hår, ridser på et patronhylster. Disse og mange andre spor har i flere forbrydelser været politiets eneste spor i opklaringsarbejdet.

Igennem dette forløb kommer du og dine holdkammerater til at arbejde med den samme type opgaver som hovedpersonerne i CSI, nemlig at opklare forbrydelser ved at analysere spor fra et gerningssted. Du vil lære hvordan kriminalteknikere indsamler spor på gerningsstedet, og hvorledes repræsentanter for forskellige naturvidenskabelige grene arbejder sammen om at analysere disse spor.

I vil komme til at arbejde med grundlæggende fysiologi, samt hvorledes retsmedicinere ser på forskellige synlige skader, som f.eks. skudsår, og undersøgelser af hvordan bestemte mærker på kroppen kan be- eller afkræfte en teori om et hændelsesforløb. Desuden belyses hvorledes retsteknikeren bruger de fysiske love og principper til at bestemme f.eks. hvor hurtigt en bil har kørt, og hvor skuddet kom fra. I vil lære om de kemiske teknikker og arbejdsgange, som er forbundet med retskemikerens arbejde i identifikationen af stoffer, som f.eks. bliver fundet på et gerningssted.

Ved forløbets afslutning håber vi at du:

- Har fået indsigt i hvordan naturvidenskabelige metoder anvendes i opklaringen af forbrydelser.
- Har set hvordan tværfagligt samarbejde er en essentiel del af opklaringsarbejdet.
- Har oplevet hvordan naturvidenskabelige metoder og teorier anvendes i den virkelige verden.



2 Opklaringsforløbet i en kriminalsag

I dette kapitel følges en kriminalsag fra dens begyndelse til den bliver opklaret. Kapitlet belyser de uddannelsesretninger, der kan være involveret i opklaringen.

Erik har ikke kunnet komme i kontakt med sin ven, Benny, i et par dage. Bekymret for Benny tager Erik hen for at besøge ham og finder hans hoveddør aflåst. Da Erik går om i haven, kan han se, at glasset i hoveddøren er smadret. Han ser Benny ligge livløs på stuegulvet uden at reagere på hverken råb eller banken på vinduet. Brian ringer naturligvis 112, hvorefter politi og ambulance kommer til stedet. En ambulancelæge erklærer Benny for død, men foretager sig ikke yderligere, da politiet ønsker liget undersøgt på stedet af en retsmediciner, inden det flyttes.

De første professionelle på et gerningssted er ofte politiet, der afspærrer stedet, undersøger om der er livstegn hos offeret og tilkalder den hjælp, der måtte være brug for. Et af de første spørgsmål politiet forsøger at besvare er: Hvem er offeret? Hvis offeret er død hjemme eller er ved bevidsthed, er spørgsmålet let at besvare. Men et lig fundet udenfor hjemmet uden ID på sig er noget vanskeligere. Lig med ukendt identitet forekommer i mange situationer f.eks. efter trafikuheld, drukneulykker, selvmord eller ved udgravninger af skeletter (f.eks. fra middelalderen). Her må politiet arbejde tæt sammen med retsmedicinere, kriminalteknikere, retstandlæger, genetikere og antropologer. Identifikationsarbejdet gælder principielt både døde og levende personer (f.eks. gerningsmænd).

Identifikation af en person kan ske på tre måder:

1. Identifikation ved genkendelse, hvor en pårørende eller nær bekendt genkender personen eller liget. Denne form for identifikation er meget sikker, hvis liget er i en genkendelig tilstand.
2. Politimæssig identifikation. Her bruges fingeraftryk. Metoden kan bruges, hvis personen er kendt i et kriminelt miljø og politiet har et referencefingeraftryk fra tidligere eller der kan skaffes et sikkert aftryk f.eks. fra personens hjem.
3. Retsmedicinsk identifikation. Her udarbejdes en beskrivelse af den døde eller de ligdele, der er fundet, samtidig med at der udarbejdes en meget nøjagtig beskrivelse af den/de savnede person(er) som det kunne tænkes at det drejede sig om. Se figur 1. Til sidst sammenlignes de to beskrivelser for at fastslå om der er tale om samme person.

INTERNATIONAL CRIMINAL POLICE ORGANIZATION
I N T E R P O L
IDENTIFIKATION
AF DØDFUNDEN PERSON
Version 2002

SAVNET PERSON
Efternavn :
Fornavn(e):
Nr:

DØDFUNDEN PERSON
Nr:

Figur 1: Forsiden af Interpols formular, som bruges til identifikation af dødfundne personer.

Politiet finder tegn på druk, (masser af tomme flasker og brugte glas) stofmisbrug (hashpiber, salgsbreve og injektionssprøjter) og voldelig/voldsom adfærd (knuste urtepotter, jord og potteplanter kastet rundt i lokalet, knust glas i hovedøren). Kriminalteknikere tilkaldes for at dokumentere og analysere gerningsstedet. En retsmediciner undersøger liget, men da liget er koldt, er det umiddelbart ikke til at afgøre, hvornår døden er indtrådt. Da liget endvidere ikke har nogle tydelige mærker eller læsioner, ikke bærer præg af at være flyttet efter døden er indtruffet og der ikke ses blodspor i lokalet er retsmedicinernes arbejde på stedet ret hurtigt overstået, og liget kan herefter transporteres til Retsmedicinsk Institut.

Kriminalteknikkernes opgave er at indsamle og analysere spor, såsom fingeraftryk og blod, der kan fortælle noget om, hvad der er sket og hvem der har været tilstede.

Hvis der er et lig på et gerningssted, må det ikke flyttes, før retsmedicinerne er ankommet. Når retsmedicinerne er ankommet, er deres første opgave at fastslå dødstidspunktet. Liget transporteres derefter til Retsmedicinsk Institut, hvor det undergår et retslægeligt ligsyn.

Ved det retslægelige ligsyn dagen efter kan der ikke ses åbenlyse tegn på vold eller nyere stikmærker på liget, men på grund af de mistænkelige omstændigheder omkring Bennys død bliver det besluttet, at der skal være retsmedicinsk obduktion.



Ved den retsmedicinske obduktion findes alvorlige skader på liget af Benny: Adskillige brækkede ribben og andre kompressionsskader i brysthulen. Skaderne er langt mere voldsomme end man umiddelbart kan forvente ved f.eks. førstehjælp eller et simpelt fald. Selvom disse traumer i sig selv sagtens kunne have medført døden besluttet det også at lave retskemiske undersøgelser for alkohol, lægemidler og misbrugsstoffer for at fastslå om nu afdøde var påvirket på gernings- eller dødstidspunktet (hvis de skulle vise sig at være forskellige). Endvidere sendes negleskrab til DNA-analyse på retsgenetisk afdeling, da det er muligt at nu afdøde har kradset en eller flere af sine overfaldsmænd i forbindelse med kamp eller selvforsvar.

Retslægelig ligsyn:

Retslægelig ligsyn foretages af en embedslæge eller retsmediciner under tilstedeværelse af politiet, og foregår efter at politiet har undersøgt omstændigheder ved dødsfaldet og har indhentet medicinske oplysninger fra afdødes egen læge. Formålet er at undersøge for sikre dødstegn samt så vidt muligt tage stilling til dødsårsagen.

Retsmedicinsk obduktion:

En medicinsk procedure, som består i at undersøge et lig indvendigt for at bestemme årsag og forløb af vedkommendes død. Obduktionen følger en bestemt fremgangsmåde, hvor politiets tekniske afdelinger oftest medvirker for at optage fotos og sikre spor. Ved mange obduktioner udtages prøvemateriale fra blod, urin, væv og organer til brug i undersøgelser der kan identificere og koncentrationsbestemme eventuelle lægemidler, misbrugsstoffer eller andre giftige stoffer i kroppen ved dødstidspunktet.

Retskemikerne analyserer prøver udtaget fra liget i forbindelse med obduktionen. Imens finder politiet frem til, at Benny, dagen inden han findes død, havde besøg af sin ekskæreste, Connie, og dennes kæreste, Frank. Vidner har oplyst, at der er blevet drukket tæt, sunget og til tider råbt højt samt "kastet med ting". Både Connie og Frank er kendte i misbrugsmiljøet. Da politiet finder frem til dem erkender de at have været til stede, have drukket spiritus og røget hash, men nægter at have gjort Benny noget. Da de ikke kan redegøre for aftenens forløb i detaljer må de betragtes som mistænkte og de og deres tøj undersøges for blod og DNA.

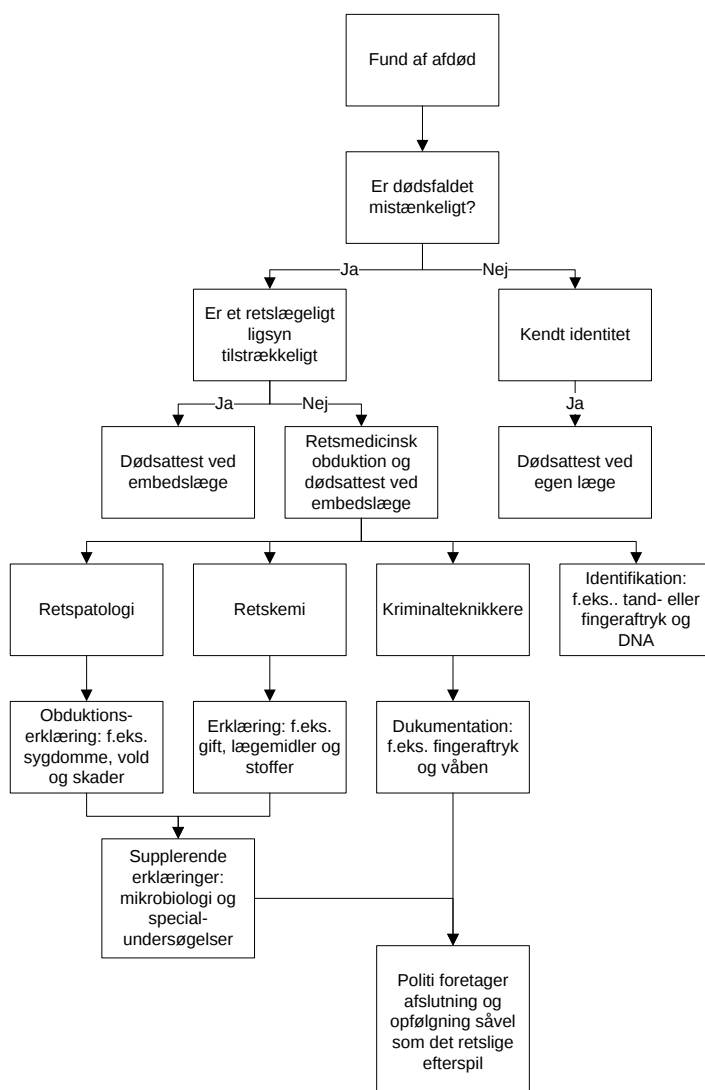
Kriminalteknikerne har fundet fingeraftryk, der ikke tilhører Benny, på kasteskytset, samt flere spor på kamp i lejligheden (en stol bærer mærker efter at være blevet brugt som våben. En væg og gulvet har flere steder mærker efter stoleben, der har ramt med stor kraft).



Senere på dagen kan restkemikerne fortælle, at Benny var kraftigt påvirket af alkohol, hash, metadon og morfin/heroin på dødstidspunktet, men da det er ukendt, hvor tilvænnet Benny var, er det umuligt at sige præcist hvor påvirket. (Var han ved bevidsthed? Kunne han forsvare sig selv?).

Den retsgenetiske erklæring beskriver at nu afdøde (Benny) havde hud fra begge mistænkte (Connie og Frank) under neglene, samt at den mandlige mistænkte (Frank) havde DNA fra nu afdøde (Benny) under skoene. Frank tilstår nu at have været oppe at slås med Benny, men nægter noget mere voldsomt end "lidt slag og spark".

På baggrund af obduktionen og analyseresultaterne udfærdiges en rapport som politiet bruger i deres videre efterforskning af forbrydelsen. Her slutter naturvidenskabsfolkenes arbejde og således også dette afsnit. Hele processen fra forbrydelse til forklaring er opsummeret på flowdiagrammet i figur 2.



Figur 2: Flowdiagram, som illustrerer processen fra forbrydelse til forklaring med naturvidenskabelige øjne. Flowdiagrammet tager udgangspunkt i, at der er fundet en død person og viser hvorledes politiet arbejder med et fund af en død person, samt hvorledes kriminalteknikere, retskemikere og retspatologer arbejder sammen om at besvare spørgsmålet: Hvorfor er personen død?



3 Introduktion til Del II

I denne del af kompendiet ser vi nærmere på nogle af de naturvidenskabelige metoder fra især fysikken, som en kriminaltekniker benytter sig af i sit arbejde.

Kriminaltekniker – på sporet af sandheden

En kriminaltekniker undersøger gerningsstedet, når der er sket en forbrydelse og leder efter spor, der kan vise, hvordan forbrydelsen er sket, og hvem der har begået den. Desuden er det kriminalteknikeren, som beskriver handlingsforløbet efter en forbrydelse.

I Danmark er uddannelsen til kriminaltekniker en videreuddannelses mulighed for politibetjente. I uddannelsen til og arbejdet som kriminaltekniker benyttes regnemetoder fra fysik til f.eks. beregning af skudbaner, dødstidspunkt og hvor hurtigt en bil kørte, da den forulykkede.

Kapitel 4 beskriver hvorledes dødstidspunktet af en afdød bestemmes. Kapitel 5 introducerer den fysik, der ligger til grund for beregninger af, hvor hurtigt en bil har kørt. Del II afsluttes med kapitel 6, der introducerer den fysik og matematik, der bruges til at beregne, hvor et skud kom fra.

4 Bestemmelse af dødstidspunktet

Når et menneske findes død, må man ud fra omstændighederne forsøge at afgøre det sandsynlige dødstidspunkt. Dødstidspunktet er indenfor et tidsinterval, som strækker sig fra det tidspunkt, hvor afdøde sidst er set i live til findetidspunktet. Ved dødsfald som følge af voldsforbrydelser er det til tider af stor betydning for efterforskningen at fastslå dødstidspunktet og at sætte det i relation til mistænkte personers alibi. Derfor er man interesseret i, at tidsintervallet er så lille som muligt, omend det er sjældent, at dødstidspunktet alene kan anvendes som bevis til at dømme en mistænkt i en retssag. Til forskel for hvad der står skrevet i kriminalromaner, så kan ikke engang den dygtigste retslæge angive dødstidspunktet nøjagtig på minutet. Bedømmelsen af dødstidspunktet hviler på en vurdering af (a) fremkomsten af sikre dødstegn samt (afsnit 4.1) (b) temperaturmåling (afsnit 4.2) eller (c) en måling af K^+ (afsnit 4.3). I de følgende afsnit ser vi nærmere på disse.



4.1 De sikre dødstegn

Når en person findes død, skal døden konstateres af en læge. Man inddeler dødstegn i de sikre og usikre dødstegn, hvorimellem der ikke er en skarp grænse. Døden konstateres almindeligvis ved påvisning af de sikre dødstegn. De sikre dødstegn er forrådnelse (*cadaverositas*), ligpletter (*livores*) og dødsstivhed (*rigor mortis*). I klassen af usikre dødstegn finder man undersøgelsesfund, der normalt anses som sikre tegn på, at et menneske er dødt, f.eks. bortfald af puls, hjerteaktivitet og vejrtrækning, manglende reflekser, indtørring og nedsat legemstemperatur. I det følgende vil vi se nærmere på de tre sikre dødstegn, mens afsnit 4.2 beskæftiger sig med bestemmelse af dødstidspunktet ud fra et af de usikre dødstegn, nemlig kropstemperaturen.

Ligpletter: Når hjertet holder op med at slå, stopper blodcirkulationen. Som følge af blodets vægt, synker det til de lavest beliggende dele af kroppen, hvor det danner rødlige områder, såkaldte ligpletter. Ligger liget på ryggen, optræder de på bagsiden af kroppen, ligger den døde på maven, kommer de på forsiden, og ved hængning udvikles ligpletterne i benene og underarmene. Ligpletter er det første sikre dødstegn, som begynder at kunne ses ca. 30 minutter efter døden er indtrådt. Se figur 3.



Figur 3: Ligpletter dannes efter døden i de lavest beliggende områder i kroppen. Her ses de på underbenene efter hængning.

Dødsstivhed: Når døden indtræder og muskelcellerne går til grunde pga. iltmangel indtræder dødsstivhed. Dødsstivhed omfatter al muskulatur. Tidspunktet for opståen af dødsstivhed og styrken af denne varierer afhængig af bl.a. temperaturforhold. Den optræder senere end ligpletter-



ne, i almindelighed 2-4 timer efter dødsfaldet og er fuldt udviklet efter ca. 1-2 døgn. På samme måde som for ligpletterne er tidsvariationen i dødsstivheden meget stor. Dødsstivheden kan brydes ved at man bøjer et af leddene, hvorefter disse vil være frit bevægelige. Dødsstivheden forsvinder samtidig med at der indtræder forrådnelse af muskulaturen. Se figur 4.



Figur 4: Dødsstivheden hos et hængningsoffer ses efter offeret er taget ned. Liget er blevet stiv og venstre ben er løftet over gulvet i samme stilling som da det hang. Brydes dødsstivheden på benet, vil dette falde ned og ligge slapt.

Forrådelse: Forrådnelse består i nedbrydning af organerne efter døden. Denne nedbrydning begynder umiddelbart efter døden og skrider frem til fuldstændig opløsning af strukturerne. Det første tegn på forrådnelse er en grønfarvning af huden på den nederste højre del af bugvæggen. Den spreder sig senere til hele maven og resten af kroppen. Dette sker ofte i form af et netværk, der følger de overfladiske vener i huden. Forandringerne skyldes hovedsaglig bakterier, som spreder sig hurtigt efter døden fra tarmen via blodkar ud i vævene. Ved stuetemperatur ses de første tegn på forrådnelse almindeligvis i løbet af det andet døgn efter dødsfaldet og mere udbredt misfarvning af liget efter tre døgn. Se figur 5.



Figur 5: Forrådnelse hos samme selvmordsoffer som i de foregående billeder. Den grønne misfarvning spreder sig langs de overfladiske vener og tyder på at hængningen har fundet sted i det forgående døgn.



4.2 Legemstemperaturen bestemmer dødstidspunktet

Måling af legemstemperaturen er den bedste metode til bestemmelse af dødstidspunktet, hvis personen ikke har været død i mere end 30 timer. Det er muligt, at bestemme dødstidspunktet ud fra legemstemperaturen, da afkølingen af kroppen skyldes en velforstået fysisk proces omkring varmeledning. Der findes tre typer varmeledning: konduktion, konvektion og stråling. For et dødt menneske er det konvektion og stråling, der dominerer. Læs en grundig beskrivelse om kroppens varmetab til omgivelserne og varmelæren generelt i del V, afsnit 19.

Tre typer varmeledning i en brødrister

En brødrister kan bruges som eksempel til at illustrere de tre typer varmeledning. Når brødristeren tændes, opvarmes metallet i varmelegemerne, så de bliver rødglødende. Derved udsender de stråling, som rammer brødet. Denne stråling vil få brødets molekyler til at svinge hurtigere og på den måde varme det op. Den ene side af brødet varmes op med stråling, men for at brødet skal blive varmt hele vejen igennem, er det nødt til at bruge konduktion og konvektion til at transportere varmen. Det er dog sådan, at brød er et netværk af stillestående luftbobler, så hverken konvektion eller konduktion virker særlig godt. Konvektionen fejler, da luften ikke kan bevæge sig udenfor luftboblen, og konduktionen fejler, da luft ikke er særlig godt til at transportere varme ved konduktion. Derfor er vi nødt til at vende brødet fra tid til anden, så vi kan få et stykke varmt brød uden at det brænder på.

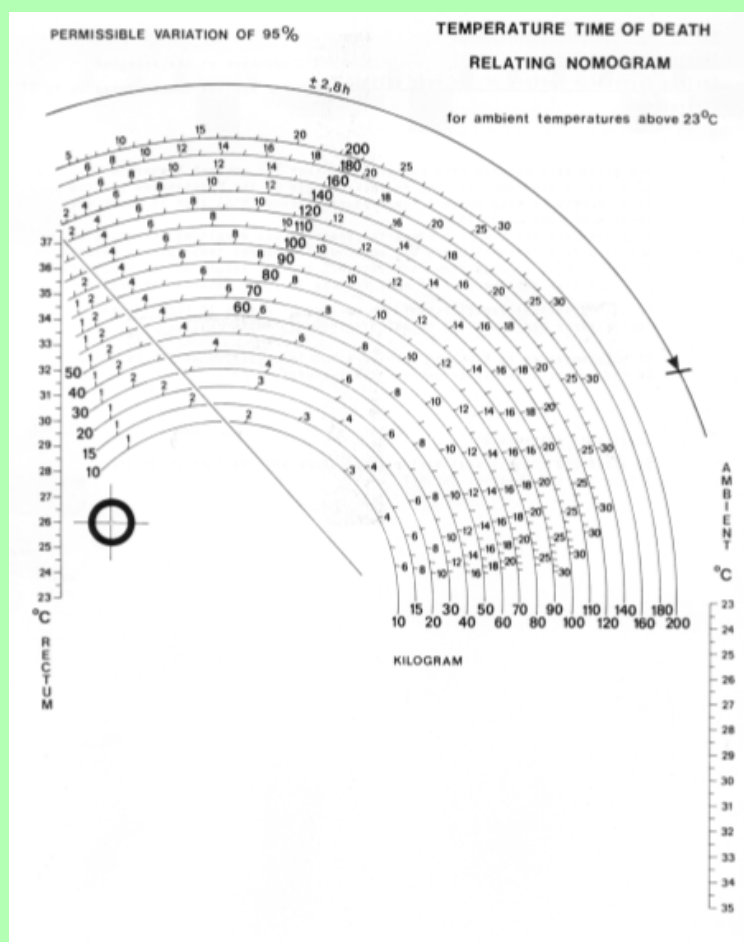
For at kunne koble kropstemperaturen til dødstidspunktet, bruges viden om to elementer: Kroppens temperatur ved dødstidspunktet og hvor hurtigt kroppen har tabt varme. Det første er relativt let at svare på, da den i de fleste tilfælde er omkring 37°C. Varmetabet derimod er et mere omfattende spørgsmål og hertil er det nødvendigt at kende effekten (energiændringen pr. tid) for varmetransport.

For at bestemme dødstidspunktet for et menneske er det nok at kende temperaturen af det døde legeme og omgivelsernes temperatur. Retsmedicinen måler kropstemperaturen ca. 5 cm oppe i endetarmsåbningen (*rectum*) på den afdøde. Dødstidspunktet kan så bestemmes vha. Hessges nomogram (se figur 6) indenfor et par timers nøjagtighed. Nomogrammet tager også hensyn til den afdødes tøj, om vedkommende lå i vand og om det blæste.



Henssge nomogram

På et gerningssted er det ofte besværligt, at foretage de beregninger nøjagtigt, som ligger til grund for bestemmelse af dødstidspunktet. C. Henssge udviklede et nomogram, der gjorde det muligt at aflæse dødstidspunkt grafisk se figur 6.



Figur 6: Henssges nomogram for temperaturer over 23°C.

For at bruge et nomogram, er det nødvendigt at kende den afdødes kropstemperatur, omgivelsernes temperatur, samt vægten af personen. På nomogrammet findes der to temperaturskalaer: En for kropstemperaturen og en for omgivelsernes temperatur. Afmærk de to målte temperaturer, og træk en lige linje mellem dem. Linjen mellem temperaturerne krydser nu den diagonal, som allerede er indtegnet. Tegn nu en ny ret linje fra centrum af cirklen til venstre og videre gennem skæringspunktet mellem diagonalen og temperaturlinjen.

Hver af cirkelbuerne repræsenterer en værdi af kropsvægten. Find den som passer bedst til vægten af den afdøde, og aflæs tiden siden dødstidspunktet der hvor linje nr. 2 skærer cirkelbuen for den rigtige kropsvægt. Endelig kan usikkerheden for tiden aflæses der, hvor linje nr. 2 skærer den yderste cirkelbue.



4.3 Biokemisk bestemmelse af dødstidspunktet

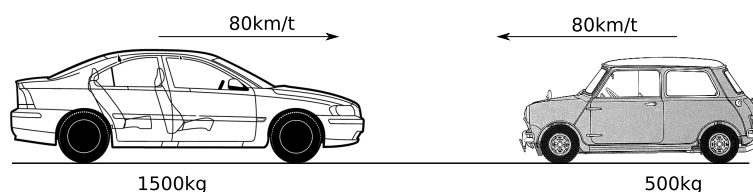
Hvis en person findes mere end 30 timer efter døden er indtrådt er kropstemperaturen oftest afkølet til omgivelsernes temperatur og temperaturmåling kan ikke bruges til dødstidsbestemmelse. Efter det første døgn efter døden og nogle døgn frem kan måling af kaliumkoncentrationen i væsken fra øjets glaslegeme til gengæld bruges. Med en sprøjte og kanyle foretages punktur af øjeæblet i den ydre øjenkrog, og et par mL væske fra glaslegemet suges op. Udregning af dødstidspunktet sker ifølge Madeas formel:

$$[K^+] = 0,19 \cdot \text{tid (timer)} + 5,88 \quad (1)$$

Kaliumindholdet behøver ikke at stige før efter ca. 12 timer, og der ses først tydeligt forhøjede værdier efter ca. 24 timer. Denne metode egner sig derfor bedst til anvendelse i løbet af det andet og de efterfølgende døgn efter dødsfaldet.

5 Trafikfysik

En Volvo S60 på 1500 kg kommer kørende med 80km/t på Ørbækvej i Odense. I modsatte vejbane kører en lille Mascot på 500kg. Mascotten kommer i slinger og er pludselig i samme vejbane som Volvoen. Ingen af bilerne kan nå at bremse og støder frontalt ind i hinanden.



Figur 7: Biler på kollisionskurs.

Sammenstød sker alle vegne hele tiden – og på alle skalaer. Eksempelvis støder millioner af luftpartikler sammen hvert sekund. På større skala forbinder vi typisk sammenstød med biluheld. Men også mellem en dartskeive og en pil samt mellem to billardkugler er der tale om stød. Sammenstød kaldes i fysikkens verden for kollisioner. Kollisioner handler om kraftpåvirkninger og kraftvekselvirkninger og hører til i en gren af fysikken, som betegnes mekanik. Mekanik er den gren af fysikken, der beskriver legemers



bevægelse (kinematik), og de kræfter, der ligger til grund for bevægelsen (dynamik).

I det ovenfor beskrevne biluheld er der tale om et totalt uelastisk sammenstød. Tingene støder sammen og fortsætter som en ting. Foruden det uelastiske sammenstød findes der to andre typer sammenstød: elastiske stød og ufuldstændige uelastiske stød.

Elastisk stød: En kollision hvor både energien og bevægelsesmængden er bevaret. Perfekte elastiske stød forekommer kun på atomart niveau, men nogle kollisioner kan tilnærmes til at være elastiske. Et eksempel er bolde, der støder sammen.

Fuldstændigt uelastiske stød: En kollision, hvor tingene fortsætter som en klump. Her er bevægelsesmængden bevaret. To biler, der støder sammen, vil ofte fortsætte sammen og er dermed et fuldstændigt uelastisk stød.

Ufuldstændigt uelastiske stød: En kollision, hvor tingene udveksler bevægelsesmængde og energi, men fortsætter hver for sig. Et eksempel kunne være en bil, der kører ind i en parkeret cykel. Cyklen flyver væk, men er kraftigt deformeret.

Via simple beregninger er det muligt, at beregne den hastighed, hvormed bilerne fortsætter, efter kollisionen. For at regne på sammenstødet, skal vi definere en retning for de hastigheder, vi arbejder med. Lad os vælge at Volvoen bevæger sig i den positive retning (med hastigheden 80km/t), da Mascot'en kører i den modsatte retning med samme fart, angiver vi dens hastighed til -80km/t. Se figur 7.

Fysikkens love dikterer at bevægelsesmængden altid skal bevares, og vi kan således beregne, hvor hurtigt de to biler bevæger sig efter kollisionen. Bevægelsesmængden er givet ved produktet af bilens hastighed og masse.

Før sammenstødet er den samlede bevægelsesmængde

$$(80\text{km/t} \cdot 1500\text{kg}) - (80\text{km/t} \cdot 500\text{kg}) = 80000\text{km} \cdot \text{kg} / \text{t} \quad (2)$$

Efter sammenstødet sidder bilerne sammen i en klump, der vejer $1500\text{kg} + 500\text{kg} = 2000\text{kg}$, for at bevægelsesmængden er bevaret må hastigheden derfor være

$$(80000\text{km} \cdot \text{kg} / \text{t}) / (2000\text{kg}) = 40\text{km} / \text{t} \quad (3)$$

Klumpen af de to sammenkørte biler fortsætter altså med en samlet hastighed på 40 km/h i samme retning som Volvoen inden sammenstødet. Efter sammenstødet aftager hastigheden over tid, pga. gnidningsmodstand (*friktion*) fra underlaget.



Friktion

Alle genstande og overflader er en smule ujævne (selv den mest glatte overflade en smule ujævn hvis man undersøger den i et mikroskop). Derfor vil der være en kraft, som modsætter sig bevægelsen af enhver genstand henover en overflade, kaldet gnidningskraften eller friktionskraften. Hver sammensætning af to overflader har en såkaldt gnidningskoefficient, μ , som siger "hvor dårligt" de to overflader passer sammen. Størrelsen af friktionen afhænger i dette tilfælde af, hvor megen kraft underlaget leverer til at holde bilen på overfladen. For en tung bil skal der leveres en større kraft end for en lille bil. Denne kraft kaldes *normalkraften*, og er det, der sikrer, at biler og andet kan placeres oven på en fast overflade og ikke synke igennem. Den samlede gnidningskraft bliver derfor:

$$F_{\text{gnid}} = \mu F_N \quad (4)$$

I ligning 4 er μ gnidningskoefficienten. Det er den, der angiver, hvor meget modstand, der er mellem to materialer, der rører hinanden. Som eksempel er gnidningskoefficienten mellem gummi, og asfalt lang større end mellem gummi og is. Det er grunden til, at man lettere skrider ud med cyklen i isglat føre end på tør vej.

Endelig er der også forskel på gnidningskoefficienten for ting, der står stille på et underlag (statisk friktion) og ting, der bevæger sig (dynamisk friktion). Generelt er statisk friktion større end dynamisk friktion. Det er det, som man ofte mærker, når man forsøger at skubbe noget tungt, som f.eks. en fyldt kommode. Det er hårdt arbejde at få det skubbet i gang, men når det så glider, er det lettere at holde gang i kommoden. Det er fordi, at den dynamiske gnidningskoefficient er mindre end den statiske. Det værste, man kan gøre, er faktisk at holde op med at skubbe og tage en pause. Så skal man arbejde hårdere for at få kommoden i bevægelse igen.

De to mest simple former for bevægelser er (a) bevægelse med konstant hastighed og (b) bevægelse med konstant acceleration. Acceleration er i fysik beskrivelsen af enhver ændring af hastighed. Man skelner ikke om hvorvidt bilerne kører hurtigere eller langsommere efter accelerationen. Dette betyder, at det giver god mening i fysik at sige, at bilen accelererede fra dens oprindelige hastighed til stillestående. Fortegnet af accelerationen vil fortælle, om hastigheden øges eller sænkes. En negativ acceleration betyder, at hastigheden sænkes. Hvis bremserne i de to sammenstødte biler blokerede, vil bevægelsen være konstant accelereret indtil bilen står stille.

Vi vil nu se på, hvor langt bilerne bevæger sig efter sammenstødet. Vi kender starthastigheden ($v_0 = 40 \text{ km/t}$) og sluthastigheden ($v = 0 \text{ km/t}$), men mere vides ikke. Man kan dog bruge bevægelsesligningen

$$v^2 - v_0^2 = 2a \cdot s \quad (5)$$



til at finde længden, som bilerne glider (s). Det kræver dog, at accelerationen, a , findes. Det vides allerede, at det er friktionen mellem dækkene og asfalten, der bremser bilerne. Altså er det gnidningskraften, der bremser bilen. For at finde en acceleration ud fra en kraft, anvendes Newtons 2. lov:

$$F = m \cdot a \quad (6)$$

Det betyder, at kraften, F , fås ved at gange massen af objektet med dets acceleration. I tilfældet her er kraften gnidningskraften (F_{gnid} i ligning 4).

For at kunne udregne acceleration, er det altså først nødvendigt at beregne gnidningskraften. Den er produktet af gnidningskoefficienten, som for gummi mod asfalt er omtrent 0,5, og normalkraften. På en flad vej skal vejen bære hele vægten af bilerne, og vejen skal derfor skubbe opad med en kraft, der svarer til den samlede tyngdekraft af bilerne:

$$F_N = F_{\text{tyngde}} = M \cdot g \quad (7)$$

Her er M den samlede vægt af bilerne (2000 kg), mens g er tyngdeaccelerationen med værdien $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Ganges de to tal sammen, fås en normalkraft på

$$F_N = 19640 \text{ N} . \quad (8)$$

Dette giver så en gnidningskraft på:

$$F_{\text{gnid}} = 9820 \text{ N} , \quad (9)$$

Da gnidningskoefficienten, μ , var 0,5. Det er nu muligt at finde accelerationen ud fra Newtons 2. lov ved at dele gnidningskraften med den samlede vægt af bilerne (2000 kg):

$$a = -4,91 \text{ m/s}^2 . \quad (10)$$

Der er tilføjet et minus her, da accelerationen er mod den retning, som bilerne glider i. Nu er der kun tilbage at omregne de 40 km/t til m/s, isolere s i bevægelsesligningen og indsætte tallene, så finder vi den længde bilerne skrider efter sammenstødet. Da 1 km er 1000 m og 1 time er 3600 s, fås:

$$40 \text{ km/t} = 40 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{40000}{3600} \text{ m/s} = 11,1 \text{ m/s} \quad (11)$$

Dette kan nu indsættes i bevægelsesligningen (ligning 5) for at finde længden, som bilerne skrider efter sammenstødet:

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(0 \text{ m/s})^2 - (11,1 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (-4,91 \text{ m/s}^2)} = 12,6 \text{ m} \quad (12)$$

De to biler glider altså 12,6 m, før de standser.

Vi ved, at sammenstødet er fuldstændig uelastisk, og det kunne være sjovt at regne på hvormeget energi, der går tabt i kollisionen? For at kunne bestemme det, er vi nødt til at kende den samlede energi af bilerne før og efter



sammenstødet. Da sammenstødet foregår på flad vej, er det kun energien fra bilernes bevægelse (kinetisk energi), der skal tages i betragtning:

$$K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (13)$$

Her er m vægten af det, der bevæger sig, mens v er farten.

Volvoens fart før kollisionen var 80 km/t og den vejede 1500 kg, mens Maskotten havde samme fart og vejede 500 kg. Dermed er startenergien, K_{start}

$$K_{\text{Volvo}} = \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{80 \text{ km/t}}{3,6 \text{ (km} \cdot \text{s)/(t} \cdot \text{m)}} \right)^2 \quad (14)$$

$$K_{\text{Maskot}} = \frac{1}{2} \cdot 500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{80 \text{ km/t}}{3,6 \text{ (km} \cdot \text{s)/(t} \cdot \text{m)}} \right)^2 \quad (15)$$

$$K_{\text{start}} = K_{\text{Volvo}} + K_{\text{Maskot}} = 4,9 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (16)$$

Sluthastigheden for de kolliderede biler var 40 km/t. Dermed er slutenergien

$$K_{\text{slut}} = \frac{1}{2} 2000 \text{ kg} \cdot \left(\frac{40 \text{ km/t}}{3,6 \text{ (km} \cdot \text{s)/(t} \cdot \text{m)}} \right)^2 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (17)$$

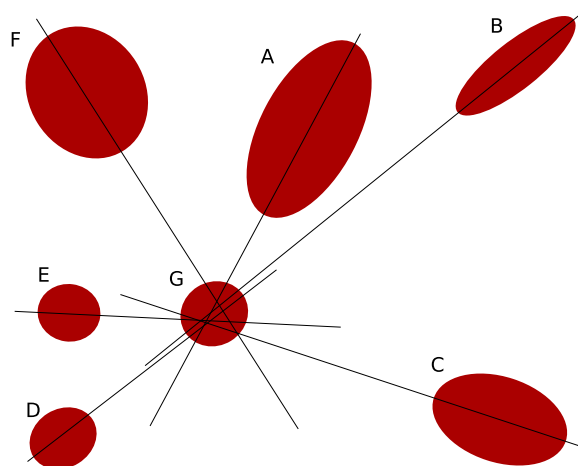
Ved sammenstødet er $3,7 \cdot 10^5 \text{ J}$ altså gået tabt. Energien er selvfølgelig ikke bare forsvundet. Den er derimod gået til deformation af bilerne, lyden fra sammenstødet og varmeudvikling.

I relation til dette kapitel findes en formelsamling i kapitel 20, med de relevante formler for trafikfysik, som I får brug for.



6 Hvor kom skuddet fra?

En uoverensstemmelse mellem to bandemedlemmer førte til et skudopgør. Det ene bandemedlem døde, mens det andet bandemedlem stak af. Forbipasserende hørte skud og tilkaldte politiet, som fandt det omkomne bandemedlem på stedet. En kriminaltekniker tilkaldes for at kaste lys over hændelsesforløbet og hjælpe politiet med at kortlægge hvad der er sket. Da kriminalteknikeren ankom til gerningsstedet, fandt han en masse blodspor i forskellige grupperinger (Se figur 8.)



Figur 8: Blodpletterne A-G har et fælles oprindelsesområde.

Kriminalteknikeren undersøgte om pletterne A, B og C kunne stamme fra samme sted (i rummet), hvor blodet kom fra. Tilsvarende blev plet A og C samt plet B og C undersøgt. Kriminalteknikeren fandt ud af, at plet A og C kom fra samme sted i rummet, hvilket sandsynliggør, at der var sket noget på dette sted i rummet. Kriminalteknikeren fandt ud af at stedet i rummet svarede til ca. 30 cm foran ryggen på en lænestol og ca. 50 cm over lænestolens sæde. Dette sandsynliggør altså, at bandemedlemmet blev skudt, mens han sad i lænestolen.

Ved at se på blodspor efterladt på et gerningssted, kan man få en række informationer om, hvordan sporene er blevet dannet, hvilket kan benyttes til at be- eller afkræfte foreslåede hændelsesforløb. Blodspor kan sige noget om:

- Fra hvilken retning ramte dråben overfladen.
- Hvor i rummet en samling af dråber stammer fra.
- Antal blodafgivende begivenheder.
- Rækkefølgen af begivenheder.

I dette afsnit skal vi se nærmere på hvad blod er med en fysikers øjne, samt



se på hvordan man kan bestemme de ovennævnte oplysninger ud fra blod fundet på et gerningssted.

6.1 Blodspor sladrer

Blod er en tyndtflydende væske med en betydelig overfladespænding. Overfladespændingen vil naturligt minimere en blodråbes overflade¹ og prøve at give blodråben en kugle form. Da blodet er tyndtflydende sker denne tilpasning hurtigt, så vi antager at blodråber, der sendes gennem luften, er kugleformede.

Blodspor karakteriseres efter deres oprindelse / den måde hvorpå de er blevet dannet. Nedenfor er en række måder at karakterisere blodspor på.

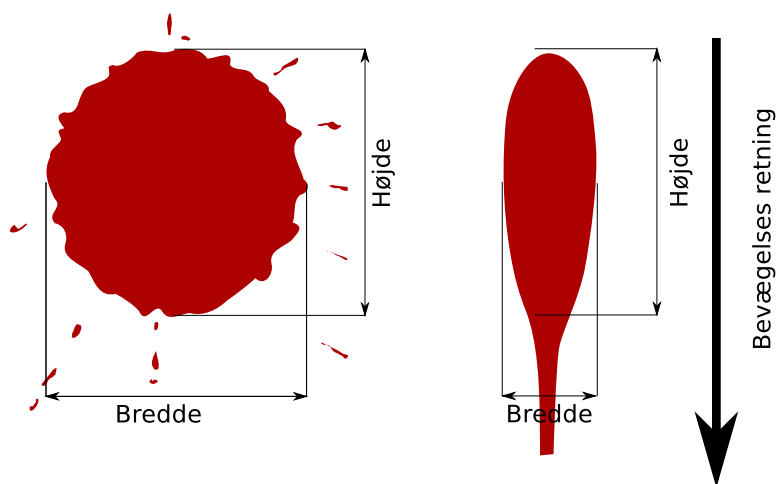
- **Overførte blodspor:** Udtværet blod, der stammer fra kontakt med en flade dækket af blod. Det ses f.eks. når en blodig hånd sættes mod en flade som vist på figur 9.
- **Passive blodspor:** Blodspor, der stammer fra blod, der er dryppet passivt (dvs. at det ikke er blevet sendt af sted pga. en hurtig bevægelse eller lign.)
- **Projicerede blodspor:** Blodspor, der stammer fra blod, der er blevet slynget / kastet væk fra blodkilden. Disse blodspor opdeles igen efter hvordan / hvor kraftigt de er blevet slynget væk.
 - **Arteriel blødning:** Blodet skydes af sted pga. det store tryk i arterierne.
 - **Blod afkast:** Blod, der er kastet af et objekt i bevægelse, f.eks. et våben (kniv, kølle, ...)
 - **Lav energi:** Blodspor, der stammer fra en langsom bevægelse er generelt ret store, da der ikke er nok energi til stede til at dele dråberne op i mindre dele. Ses når indslagshastigheden er under $1,5m/s$.
 - **Middel energi:** Øges indslagshastigheden til $1,5m/s - 7,6m/s$ er blodsporenes størrelse typisk mellem $1mm$ og $4mm$. Dette ses ofte ved stumpe slagvåben.
 - **Høj energi:** Bliver et offer ramt af noget der bevæger sig meget hurtigt, vil blodsporene generelt være mindre end $1mm$ i størrelse. Ses f.eks. ved skudsår og blod kastet af hurtigt bevægende maskiner (kørende rundsav, ...)

¹En kugle er den geometriske form, der bruger den mindste overflade på at indesluttet et givent volumen.

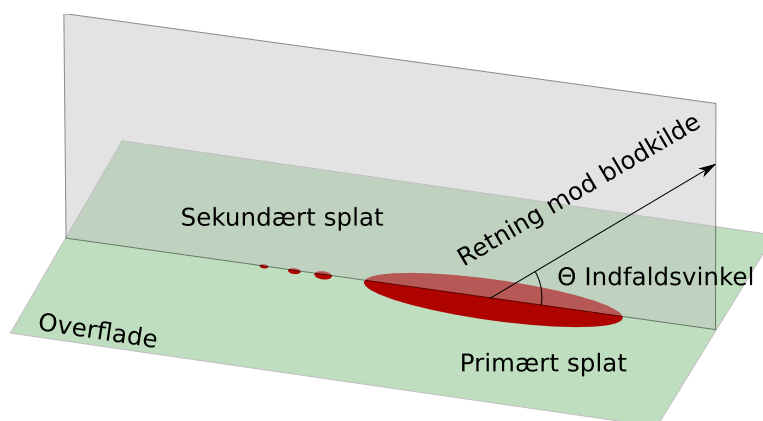


Figur 9: *Eksempler på overførte blodspor.*

I figur 10 ses to bloddråber, en der har ramt underlaget vinkelret og en der har ramt underlaget i en skæv vinkel. Den ene blodplet er helt rund, mens den anden er lettere fladtrykt samt udstyret med en "hale". Ved at se på hvor halen er, og måle hvor fladtrykt blodpletten er, kan man bestemme fra hvilken retning bloddråben ramte overfladen. Halen vil altid pege i den retning som dråben bevægede sig i. Så ved at se på i hvilken retning halen peger, kan sige hvilket plan dråben er kommet fra, dette er vist på figur 11.



Figur 10: *Eksempler på blodspor der har ramt overfladen i en vinkel på hhv. 90 (til venstre) og 20 grader (til højre).*

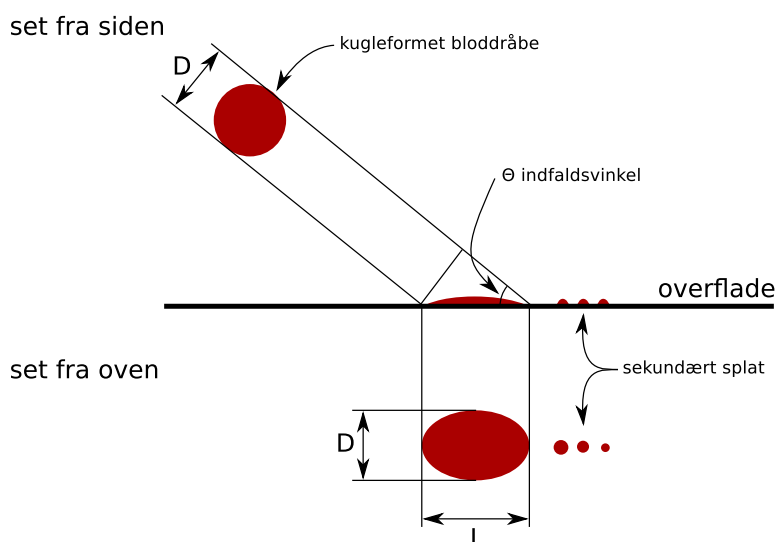


Figur 11: Længde og bredde af blodspor kan benyttes til at bestemme hvor blodet kom fra.

For at bestemme indfaldsvinklen θ , skal blodplettenes fladtrykthed bestemmes. Hvis vi antager at blodråben er kugleformet og ikke bliver deformeret ved nedslaget på underlaget, vil den berøre et område afgrænset af en ellipse, hvor forholdet mellem lilleaksen D og storaksen L svarer til sinus til indfaldsvinklen θ .

$$\sin(\theta) = a/b \quad (18)$$

Figur 12 viser hvorfor blodpletten har fået sin aflange form og viser desuden halens (sekundært blodspor) placering i forhold til indfaldsretningen. Ved at se på formen af et blodspor er det således muligt, at sige noget om hvor i rummet skuddet kom fra.

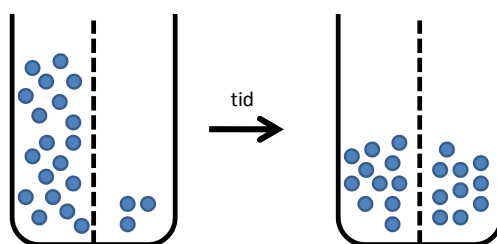


Figur 12: Sammenhængen mellem indfaldsvinklen og formen på blodsporet.

**Et eller flere slag**

Hvis et offer er blevet ramt af flere hug fra et slagvåben, er det blandt andet interessant at bestemme, hvor mange slag offeret som minimum er blevet udsat for. Hvis der under slagene går hul på huden, sprøjtes der blod ud, idet slaget rammer (typisk blodpletter med en middel energi). Hæves slagvåbnet derefter til endnu et slag, vil noget af blodet, der sidder på slagvåbnet, blive slynget op mod loftet, og der dannes spor efter afkast. Da der for hvert sving vil dannes spor efter afkast, kan man bestemme hvor mange gange gerningsmanden har slået ved at tælle antallet af disse spor.

7 Diffusion



Figur 13: Princippet i diffusion. Den stiplede linie i karret illustrerer en semi-permeabel membran.

Når kroppen flytter rundt på næringsstoffer, er det diffusion, der flytter molekylerne det sidste stykke af vejen fra blodet og ind i de enkelte celler. Denne transport er drevet af koncentrationsforskelle. I blodet er koncentrationen høj sammenlignet med koncentrationen inde i cellerne, hvor næringsstofferne nedbrydes. Diffusion er således ikke en aktiv proces, men alene naturens måde, at fjerne koncentrationsforskelle. Over lang tid, og ingen konkurrerende processer (aktiv transport, omrøring, konvektion eller andet) vil diffusion altså sørge for, at alt stof fordeles jævnt over det til rådighed værende område. Heldigvis er det en forholdsvis svag og langsom proces, og i kroppen er det muligt at holde den i ave med forskellige aktive transportmekanismer. Hvis stoffer kunne diffundere fuldstændigt frit og uden konkurrence i vores krop, kunne cellerne ikke opretholde de nødvendige koncentrationsforskelle (potentialer) til at holde sig i live, trække sig sammen, sende signaler, osv.

Når døden indtræder, begynder diffusionen at overtage scenen, da der ikke længere kan foregå aktive processer. Dette giver både fordele og ulemper i kriminalteknisk efterforskning. Skal vi starte med en af de større ulemper



så er det postmortel redistribution, som er betegnelsen for at nogle stoffer, bl.a. ved hjælp af diffusion, flytter sig rundt i kroppen efter dødens indtræden. Dette kan gøre det svært at måle og vurdere, om en person er død af en forgiftning, især da ikke alle stoffer flytter sig på den måde, og dem der gør, heller ikke opfører sig ens. Blandt fordelene er, at da diffusion er en passiv, langsom, og velbeskrevet proces, så kan den nogle gange hjælpe med at afgøre, hvornår døden er indtrådt. Dette kan f.eks. være ved at måle hvor meget Kalium der er i øjenvæsken, da denne ændrer sig forudsigeligt i tiden efter døden. Der er også mange ligheder mellem diffusionsprocesser og varmetab, da begge er drevet af gradienter, altså forskelle i koncentration eller temperatur. Varmetab er behandlet separat i kapitel 19.

Diffusion er altså en vigtig proces at have en grundlæggende forståelse for, og denne forståelse kan være relevant for både retsmedicinere, retskemikere og kriminalteknikere.

7.1 Random walk

Random walk er en meget simpel model af diffusion. Modellen tager udgangspunkt i en genstand, der kan flyttes frem og tilbage langs en linje. Når vi starter modellen ($t = 0$), er genstanden i udgangspunktet ($x = 0$). For at finde ud af om genstanden skal flyttes frem eller tilbage, slår vi plat og krone, hvis krone flytter genstanden et trin frem, ellers flytter den et trin tilbage. Efter det første skridt tager vi endnu et skridt på samme måde, og det fortsætter i et bestemt antal skridt. Lad os indføre notationen x_n , som beskriver, i hvilken position genstanden er i efter n skridt. Så kan vi beskrive en random walk som:

$$x_{n+1} = x_n \pm 1 \quad (19)$$

Opgave 1: Hvilke værdier kan x_3 og x_4 have?

Opgave 2: Har de mulige værdier for x_3 noget til fælles, hvad med værdierne for x_4 ?

Når vi ved, hvordan genstanden bevæger sig, eller i hvert fald mønsteret bag, kan vi beregne, hvor genstanden er efter 10, 20, 100, 100000 skridt, ved at beregne i hvilken retning genstanden bevæger sig i gennemsnit. I halvdelen af tilfældene flytter genstanden et trin fremad og ellers flytter den et trin tilbage. Dvs. i gennemsnit vil genstanden flytte sig

$$0.5 \cdot (+1) + 0.5 \cdot (-1) = 0.5 - 0.5 = 0 \quad (20)$$

skridt fremad. Lad os indføre følgende notation $\langle x_n \rangle$ for den forventede værdi af x_n . Vi kan nu udtrykke den forventede værdi af $\langle x_{n+1} \rangle$ ud fra $\langle x_n \rangle$



og det kendte skridtmønster. Formlen kommer til at se ud på denne måde:

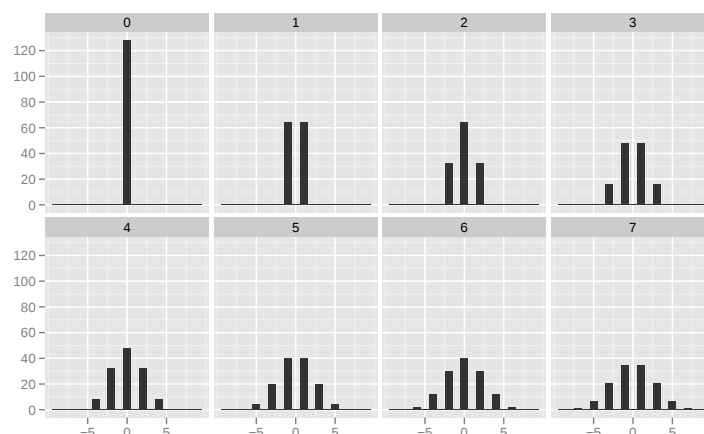
$$\langle x_{n+1} \rangle = \langle x_n \rangle + 0.5 \cdot (+1) + 0.5 \cdot (-1) = 0.5 - 0.5 \quad (21)$$

$$= \langle x_n \rangle \quad (22)$$

Ovenfor står, at den forventede værdi af $\langle x_{n+1} \rangle$ er den samme som den forventede værdi af $\langle x_n \rangle$ plus sandsynligheden for at tage et skridt fremad (0.5) ganget med skridtlængden (+1) plus sandsynligheden for at tage et skridt tilbage (0.5) ganget med skridtlængden (-1). Da det er lige så sandsynligt at tage et skridt fremad som et skridt tilbage og skridtene har samme længde vil genstanden i gennemsnit blive stående på den samme plads.

Opgave 3: Gentag en random walk med 7 skridt i alt fire gange. Sammenlign resultatet med figur 14.

Prøver man eksperimentet et par gange er det tydeligt, at genstanden ikke bliver stående i udgangspositionen. På figur 14 er det vist, hvordan 128 genstande i gennemsnit vil være fordelt efter nul til syv skridt med random walk. Øverst til venstre er starttilstanden vist, hvor alle 128 genstande er i positionen $x = 0$. Efter det første skridt er 64 genstande nu i $x = -1$ og de resterende i $x = 1$. Efter hver gentagelse kommer genstandene i gennemsnit længere væk fra udgangspunktet. Det område, hvor vi kan finde genstandene, vokser efter hvert skridt, men da de bevæger sig fuldstændig symmetrisk til begge sider har den samlede mængde genstande altså i gennemsnit ikke bevæget sig, så det er ikke kun en teoretisk slutning, men gælder også i praksis. Imidlertid gør den oplysning "at de i gennemsnit ikke bevæger sig" os ikke specielt meget klogere, hvis vi er interesseret i hvor spredte genstandene er efter et bestemt tidsrum eller antal skridt. En mulighed for at få et bedre beskrivende resultat er, at se på gennemsnitsafstanden mellem alle genstandene og udgangspositionen.



Figur 14: Fordeling af 128 genstande efter n trin i random walk. Tallet over hver delfigur angiver antallet af skridt i den random walk der har frembragt den viste fordeling. Efter 0 trin (øverst til venstre) ved vi, at genstandene altid er i positionen $x = 0$. Efter fem trin kan genstandene være nået fra fem skridt frem til fem skridt tilbage, men det ses også, at det er meget mere sandsynligt, at de sammenlagt kun er flyttet et skridt frem eller tilbage.

Da vi ønsker at måle, hvor langt genstandene er nået væk, vil det være naturligt at lægge mest vægt på de elementer, der er nået længst væk. Det kan vi gøre ved at kvadrere værdien af x_n og se, hvordan den ændres efter hvert skridt. Ved at se på x_n^2 kommer vi automatisk til at behandle positive og negative værdier af x_n på samme måde, hvilket medfører, at vi ikke længere har information om i hvilken retning, de har bevæget sig, men alene hvor langt de har bevæget sig.

Lad os se, hvordan værdien af $\langle x_{n+1}^2 \rangle$ afhænger af $\langle x_n^2 \rangle$. Vi tager udgangspunkt i udtrykket:

$$x_{n+1} = x_n \pm 1 \quad (23)$$

I (23) kvadreres begge sider og vi får:

$$x_{n+1}^2 = x_n^2 + 1^2 \pm 2x_n \cdot 1 \quad (24)$$

Så tages den forventede værdi:

$$\langle x_{n+1}^2 \rangle = \langle x_n^2 \rangle + 1 \pm 2\langle x_n \rangle \quad (25)$$

Vi ved fra tidligere, at $\langle x_n \rangle$ er nul, så den går ud:

$$\langle x_{n+1}^2 \rangle = \langle x_n^2 \rangle + 1 \quad (26)$$

Hvis $\langle x_0 \rangle = 0$ indsættes i det ovenstående udtryk, får vi:

$$\langle x_1^2 \rangle = \langle x_0^2 \rangle + 1 = 0 + 1 = 1 \quad (27)$$

Udtrykket for $\langle x_1^2 \rangle$ kan benyttes til at bestemme $\langle x_2^2 \rangle$. Ved at gentage denne proces kan vi bestemme værdien af $\langle x_n^2 \rangle$ til at være n . Denne teknik kaldes induktion.



7.2 Opsummering

Det vi nu har vist er, at en gruppe af partikler, der følger random walk, opfylder:

1. Midtpunktet flytter sig, i gennemsnit, ikke. ($\langle x_n \rangle = 0$).
2. Gennemsnittet af den kvadrerede afstand fra startstedet til de enkelte partikler vil vokse lineært med antallet af skridt. ($\langle x_n^2 \rangle = n$).

Vi kan ikke direkte benytte random walk til at beskrive diffusionsprocesser i naturen. Det skyldes, at vi ikke kender længden af de anvendte skridt samt hvor lang tid, der går imellem de enkelte skridt. Derfor indføres diffusionskonstanten, D , der beskriver kombinationen af skridtlængde og tidsforløb. Denne konstant kan måles for virkelige systemer, uden vi behøver bekymre sig om skridtlængder og tidsforløb for den enkelte partikel. Er diffusionskonstanten kendt kan sammenhængen imellem den tilbagelagte afstand, x , og den benyttede tid skrives som:

$$x = \sqrt{D \cdot t} \quad (28)$$

Modellen for random walk fortæller os noget om, hvor spredt en gruppe partikler bliver over tid. Hvis det f.eks. tager et minut for en gruppe partikler at nå ud til $x = 10$ (formel 29), vil det tage fire minutter at nå ud til $x = 20$ (formel 30); dvs. for at tilbagelægge den dobbelte afstand skal diffusion bruge fire gange så lang tid!

$$10\text{mm} = \sqrt{D \cdot 1\text{min}} \quad D = 100\text{mm}^2/\text{min} \quad (29)$$

$$20\text{mm} = \sqrt{D \cdot 4\text{min}} \quad (30)$$

Derfor er diffusion god over korte afstande, f.eks. til at transportere næringsstoffer fra blodbanen og ind i cellerne i vores krop (~ 1 mm) men utilstrækkelig til at transportere næringsstofferne rundt i kroppen (~ 1 m).

Opgave 4: Hvis det tager 5 min for et stof at tilbagelægge 2 cm, hvad er diffusionskonstanten så?

**Diffusion og insekters størrelse**

I alle dyr er det diffusion der flytter ilt og næringsstoffer det sidste stykke ud til cellerne. Sammenhængen mellem tid t og udbredelse x :

$$x = \sqrt{D \cdot t} \quad (31)$$

viser at diffusion er hurtig over korte afstande, men bliver sløv når afstanden øges. Insekters respiration er drevet udelukkende af diffusion, og det sætter en øvre grænse for hvor store insekter kan være. Hvis et insekt kommer over denne størrelsesgrænse, kan ilten ikke længere komme hurtigt nok ud til hele kroppen, derfor ser man ikke insekter med en kropsdiameter på over 3cm.

Blodkredsløbet hos pattedyr, krybdyr og fisk hjælper med at transportere både ilt og næringsstoffer rundt i kroppen. Denne aktive transportmekanisme gør det muligt at overskride insekternes maksimale størrelse.

Indtil nu har vi kun brugt random walk til at beskrive bevægelse i en retning / dimension. Men random walk er let at udføre i flere dimensioner. I to dimensioner skal genstanden f.eks. tage to skridt samtidig, og uafhængigt af hinanden; et skridt i retningen op / ned og et skridt i retningen højre / venstre. Ser man kun på bevægelsen i retningen op / ned vil den beskrive en random walk i en dimension, og det samme gælder for retningen højre / venstre.

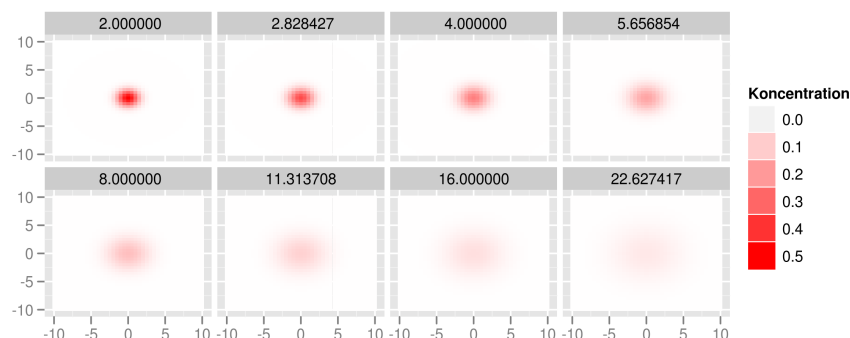
7.3 Diffusionsdrevet udbredelse i to dimensioner

I afsnittet om random walk så vi, at den forventede udbredelse af et stof efter tiden kan beskrives ved sammenhængen

$$x = \sqrt{D \cdot t} \quad (32)$$

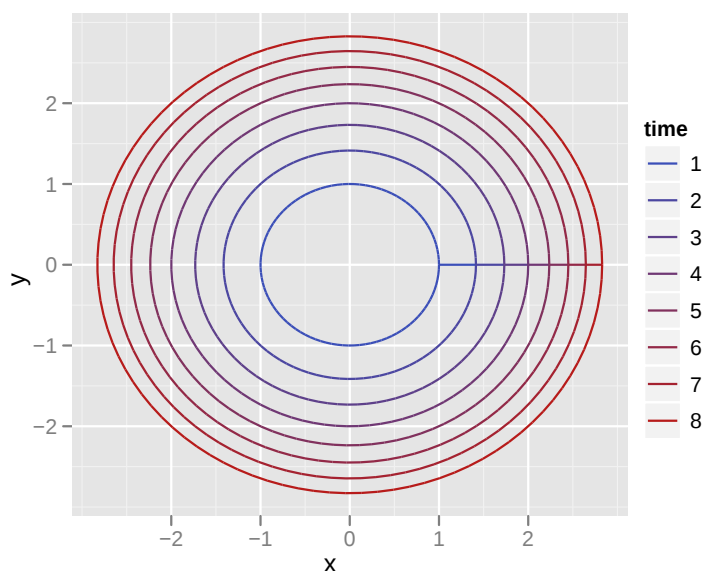
hvor D er diffusions koefficienten.

Vi kan nu regne på den horisontale udbredelse af et stof gennem et medie, f.eks. vand, et vilkårligt tidspunkt efter at det diffunderende stof er blevet tilsat. Baggrunden for figur 15 er, at der ved tiden $t = 0$ blev systemet udsat for forurening i punktet $(x, y) = (0, 0)$. Figuren viser, hvordan koncentrationen af forureningen er blevet fordelt efter 2 til 22 tidsenheder. Det ses, at udbredelseshastigheden aftager med tiden.



Figur 15: Stofudbredelse som funktion af tiden. Det ses at forskellen mellem højeste og laveste koncentration også mindskes, efterhånden som udbredelsen foregår.

En anden måde at visualisere udbredelsen på, er ved at indtegne cirkler, der beskriver området, hvor forureningen kan måles. Fra random walk afsnittet ved vi at forureningen i gennemsnit når ud til x_1 efter tiden t_1 . Udbredelsen af forureningen til tiden t kan vises ved at indtegne en cirkel med radius x_i for hvert tidspunkt, t_i , man ønsker at visualisere, se figur 16. Her skal man være opmærksom på, at det er udbredelsens yderste grænse man afbilder, og afhængigt af hvilket system der er tale om, og hvor lang tid der er gået kan det meste af stoffet stadig befinde sig længere inde mod midten.



Figur 16: Udbredelsesringe til tiderne 1, 2, ..., 8. Bemærk hvordan ringene kommer til at ligge tættere når afstanden til forureningskilden øges.

Mine noter





8 Introduktion til Del III

I denne del af kompendiet vil vi se nærmere på de naturvidenskabelige metoder, som en retsmediciner benytter sig af i sit arbejde.

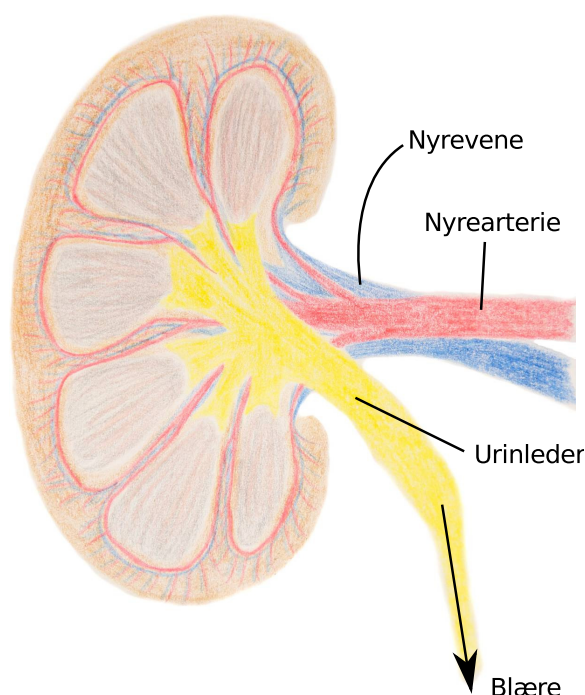
Retsmediciner - på sporet af sandheden

En retsmediciner arbejder med obduktioner og ligsyn samt sporsikring og dokumentation på ofre og mistænkte forbrydere og identifikation af disse. De retsmedicinske obduktioner omfatter drabsobduktioner og en del af de obduktioner, hvor man ved det retslægelige ligsyn ikke har kunnet fastslå dødsårsagen med sikkerhed, dvs. om dødsfaldet skyldes naturlig død, drab, selvmord eller ulykke. En retsmediciner er lægeuddannet og ansat på et af de tre retsmedicinske institutter i Danmark (ved Københavns Universitet, Aarhus Universitet eller Syddansk Universitet). Som universitetsansatte er retsmedicinere også beskæftiget med forskning og undervisning af lægestuderende.

Kapitel 9–12 beskriver den fysiologi om hhv. hjertet, lungerne, nyrerne og nervesystemet, der ligger til grund for en retsmediciners arbejde med opklaring af forbrydelser. Derefter introducerer kapitel 13 toksikologi, farmakodynamik og farmakokinetik.

9 Nyrerne

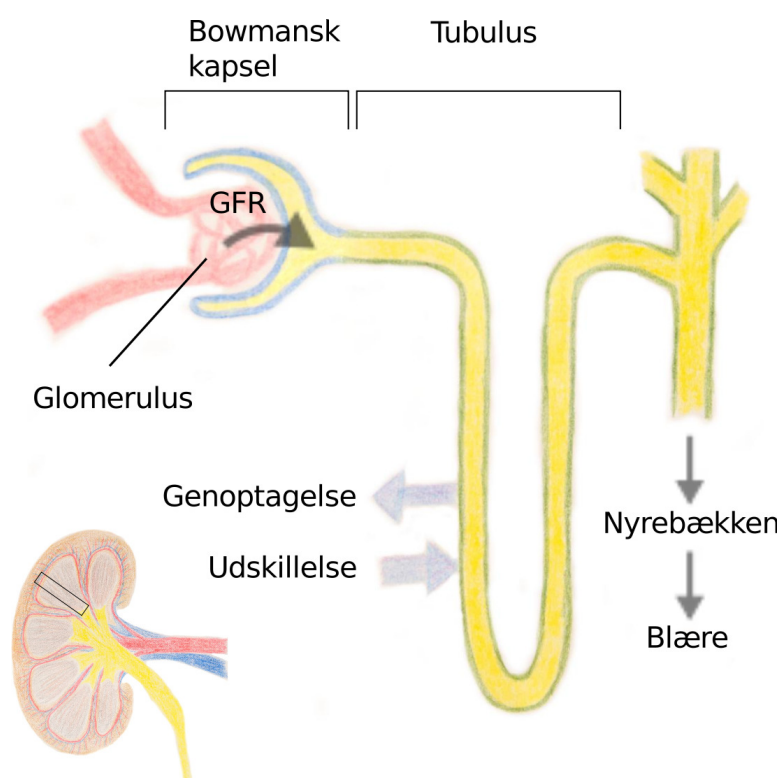
Nyrerne er menneskets rensningsanlæg. De rensrer blodet for mange vandopløselige affaldsprodukter og giftstoffer. Mennesket har normalt to nyrer, som modtager blodet via arterier direkte fra hovedpulsåren i bughulen og afleverer det filtrerede blod via nyrevenen til kroppens store hulvener. Affaldsstoffer og kroppens vandoverskud bliver udskilt som urin via urinlederen ned til blæren. Se figur 17. Hastigheden hvormed urinen dannes kaldes for diurese ($\dot{V}$), og findes ved at dele urinvolumen (mL) med den tid (min), det har taget at danne det. Enheden bliver derved mL/min.



Figur 17: *Nyrens opbygning.*

Inde i nyren forgrener arterierne sig mange gange og bliver mindre for hver gang. Når de har forgrenet sig så mange gange, at der er 1 million små kar i hver nyre, laver de hver især en lille knude, kaldet glomerulus, som er omgivet af en kapsel kaldet Bowmans kapsel. I karknuden er karrene utætte således at væsken, men ikke cellerne i blodet kan presses ud igennem karvæggen og havner i kapslen. Herfra kan væsken flyde ned ad et langt rørsystem kaldet tubulus, hvor forskellige molekyler og vand bliver enten genoptaget eller udskilt således, at væskens sammensætning har ændret sig markant, når den når ud af rørsystemet og ind i nyrebækkenet som urin. Nyrene kan i høj grad styre udskillelsen af forskellige molekyler og vand alt efter kroppens behov. Den funktionelle enhed i nyren, som strækker sig fra Bowmans kapsel til nyrebækkenet, kaldes for nefron (jf. figur 18).

Nyrernes funktion bestemmes hovedsagligt af, hvor meget blod de filtrerer per tid. Filtrationen sker i glomerulus og derfor hedder den hastighed, hvormed blodet bliver filtreret den *glomerulære filtrationshastighed* (GFR). Under normale omstændigheder holdes GFR meget konstant, uanset hvad blodtrykket er, eller hvor dehydreret man er. Der skal rigtig meget til for at nedsætte GFR. Som regel skyldes en nedsat GFR-funktion enten en nyresygdom eller et blodtab.



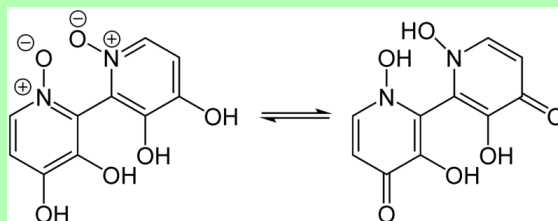
Figur 18: Nefronet, nyrens funktionelle enhed. Blodet filtreres i glomerulus med hastigheden GFR. Filtratet bliver opsamlet i Bowmans kapsel og transporteret og manipuleret i tubulus før det via nyrebækkenet havner i blæren med hastigheden V .

Nyrernes renselsesfunktion overfor forskellige stoffer kan også vurderes. Hertil har man opstillet et begreb kaldet *clearance*, en slags renselsesindex. I grunden er dette bare et tal, der viser, hvor meget der udskilles (Urinkoncentrationen af stoffet, U , ganget diuresen, $\dot{V}$) i forhold til koncentrationen af stoffet i blodet, P . Clearance angives ofte som C . For et stof, x , vil clearance kunne beregnes, så fremt man kender stoffets koncentration i blod og urin samt diuresen:

$$C_x = \frac{U_x \cdot \dot{V}}{P_x} \quad (33)$$

**Orellanin: langsom død af nyresvigt - den perfekte gift?**

Orellanin er et giftstof, som findes i mange svampe fra familien *Cortinari*, som er blandt de giftigste svampe i store dele af Europa. Det er en bipyridin med sumformlen $C_{10}H_8O_6N_2$. Strukturformlen ses på figur 19.



Figur 19: Strukturformlen for deprotoneret og protoneret Orellanin.

Orellanin er kun giftig på nyrerne, hvor det hæmmer protein og DNA syntesen og dermed ødelægger nyrernes evne til at reabsorbere det vand, der filtreres i glomerulus. Modsat mange andre giftstoffer, så virker Orellanin først efter 2-10 dage efter selve forgiftningen har fundet sted, da det tager så langt tid, før cellerne i nyrerne har opslidt deres proteiner og har brug for at danne nye. Når symptomerne fremkommer kan giften allerede være ude af kroppen og det kan være svært at sætte forgiftningen i forbindelse med en evt. gerningsmand.

Symptomerne er uspecifikke og starter med kvalme og opkast, efterfulgt af led- og muskelsmerter samt smerter i lænderyggen (som stammer fra nyrerne, men som ofte bliver fejltolket som rygsmerter). Til sidst, når nyrefunktionen ophører, bliver personen meget tørstig og producerer en stor mængde urin. Ofte bliver forgiftningen først rigtig opdaget på dette sene tidspunkt, hvor det enten er for sent eller nyretransplantation er eneste udvej. Hvis al hjælp kommer for sent dør personen af dehydrering og uræmi, dvs. indre forgiftning af alle de affaldsstoffer, som nyrerne normalt udskiller.

Dyreforsøg på marsvin og katte har vist, at LD_{50} (se nærmere under farmakologiafsnittet) på mellem 4,9 og $8,3 \frac{mg}{kg}$. Dette svarer ca. til en dødelig dosis for mennesker på 50-100g svamp. Det rene Orellanin er farveløst, men lyser mørkeblåt under ultraviolet lys. Det er varmestabilt op til $150^{\circ}C$, så svampenes giftige virkning forsvinder ikke ved kogning.



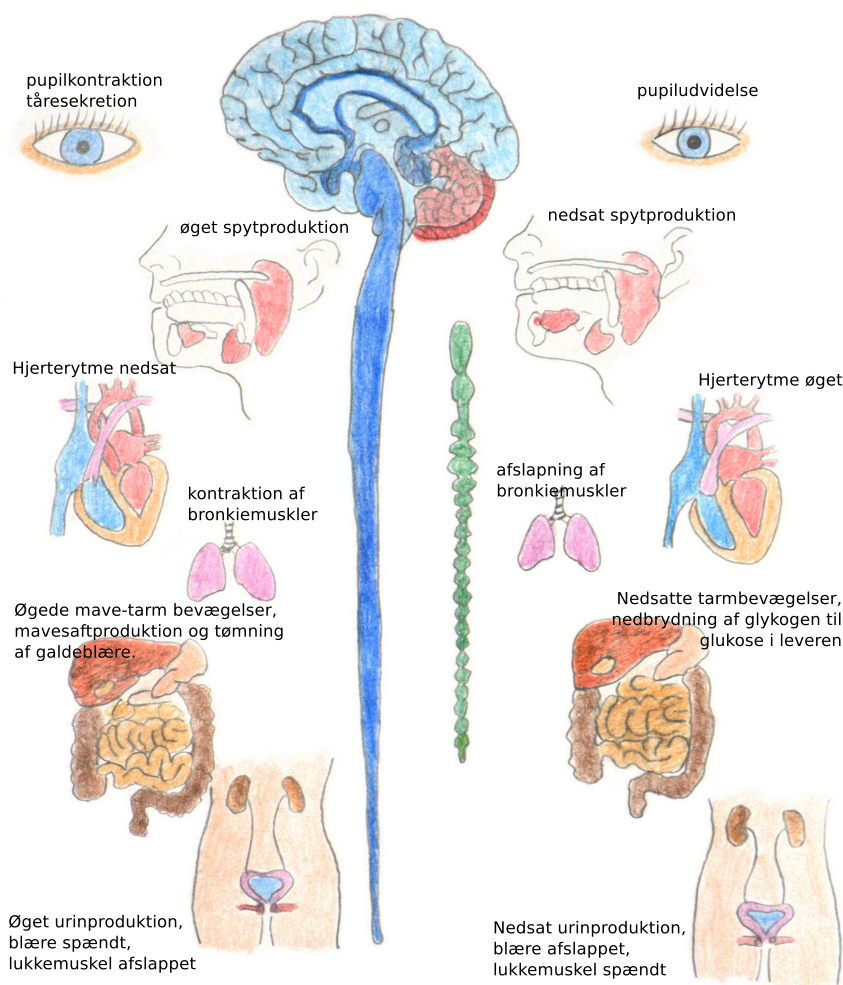
10 Nervesystemet

En person sætter uforvarende højre hånd på en varm kogeplade. Et splitsekund efter fjernes hånden automatisk fra kogepladen. Handling er ubevidst og benævnes derfor en refleks, som styres af vores nervesystem. Nervesystemets hovedfunktion er registrering, overførsel og behandling af information

Nervesystemet inddeles anatomisk i centralnervesystemet (CNS) og det perifere nervesystem (PNS). Fysiologisk inddeles nervesystemet i det autonome nervesystem (det selvstyrende nervesystem) og det somatiske nervesystem (det viljestyrede nervesystem). Det autonome nervesystem kan yderligere inddeles i et: Sympatisk og et parasympatisk nervesystem, som vi vil se nærmere på i dette kapitel (Se figur 20).

Parasympatiske nervesystem

Sympatiske nervesystem



Figur 20: Det autonome nervesystem består af to dele, parasympatikus og sympatikus, som styrer kroppens automatiske funktioner modsat hinanden.



Sympatisk nervesystem, udgøres af de indvoldsnerver og centre i centralnervesystemet, som sætter kroppen i stand til at klare en akut belastning. Det sympatiske nervesystem øger således hjertets sammentrækningssevne og hastighed, og øger blodgennemstrømningen til muskulatur, hjerte og lunger. Herved forbedres vores evne til at yde vores maksimale – det vil sige at kæmpe fysisk eller flygte med stor hast. Angst, stress og fysiske belastninger fører således til en aktivering af det sympatiske nervesystem.

Parasympatisk nervesystem, udgøres af indvoldsnerver og dele af CNS, som er særligt aktive, når vi skal genopbygge kroppens resurser. Det parasympatiske nervesystem styrer herved vore fordøjelsesprocesser og mave-tarmsystemets motilitet. Den del af nervesystemet er således mest aktivt, når man ligger på sofaen efter indtagelse af et stort måltid.

10.1 Det autonome nervesystem

Det autonome nervesystem er den del af nervesystemet, som styrer kroppens organer. 'Autonom' betyder 'selvstyrende', og det autonome nervesystem fungerer selvstændigt udenfor bevidsthedens kontrol. Dets hovedfunktion er at regulere kroppens automatiske processer som fordøjelse, udskillelse af hormoner, temperatur, puls, blodtryk og vejrtrækning. Derved kan kroppen opretholde et stabilt indre miljø, både når kroppen er i hvile, i gang med at fordøje, eller i alarmberedskab.

Det autonome nervesystem består af nerver, der løber fra rygmarven til de forskellige organer, som systemet regulerer. Nerverne er opbygget af to nerveceller, der ligger i forlængelse af hinanden. Den første nervecelle modtager signaler fra det centrale nervesystem, dvs. enten hjernen eller rygmarven, og fører herfra signalerne ud i kroppen. Den anden nervecelle skaber en kontakt med den første, hvorfra den modtager sine signaler, og sender derefter signalerne videre ind i de organer, som skal påvirkes for at opnå den nødvendige effekt, f.eks. hjertet eller tarmene.

I virkeligheden består det autonome nervesystem af to adskilte systemer, det sympatiske og det parasympatiske, der virker modsat af hinanden i deres kontrol af kroppens funktioner. De to nervesystemer balancerer med hinanden som på en vippe, sådan at når aktiviteten i det ene nervesystem er høj, er aktiviteten i det andet lav, og omvendt.



10.2 Det sympatiske nervesystem

Det ene af de to nervesystemer, som tilsammen udgør det autonome nervesystem, er *det sympatiske nervesystem*, på latin også kaldet *sympaticus*. Det er den del af det autonome nervesystem, som gør kroppen klar til kamp eller flugt i faretruende situationer.

Når kroppen udsættes for en ydre fare, vil det sympatiske nervesystem blive aktiveret. Det får hjertet til at arbejde hårdere, og pulsen og blodtrykket stiger derfor kraftigt, så ilt og næringsstoffer hurtigt kan nå kroppens muskler. Sukker og fedt frigives fra kroppens energidepoter, blodkarrene til fordøjelseskanalen og kroppens kirtler lukker, og i stedet åbner en masse blodkar til musklerne og hjertet, så de er klar til at arbejde maksimalt, hvis man er nødt til at slås eller flygte fra den faretruende situation. Sympaticus øger også vejrtrækningsfrekvensen og rumfanget i luftvejene, så mere luft kan trækkes ned i lungerne. Som en rest fra vores evolutionære udvikling giver sympaticus også en udvidelse af øjets pupil, så vi kan se bedre, og rejser alle hårene på kroppen. Kort sagt vil alle unødvendige kropsfunktioner blive standset, så kroppen kan bruge al sin energi på at slås eller flygte, og muskler og organer, som er nødvendige for at kæmpe, vil blive aktiveret maksimalt.

I en farlig situation skal kroppens reaktion være hurtig og maksimal, og derfor er sympaticus-reaktionen 'alt eller intet'. Det er ikke muligt kun at aktivere en enkelt del af sympaticus. Det sympatiske nervesystem bruger oftest et signalstof, der hedder adrenalin.



Der findes forskellige typer af medicin, som kan påvirke det sympatiske nervesystem. *Sympatomimetisk* medicin vil øge effekten af det sympatiske nervesystem, mens *sympatolytisk* medicin nedsætter effekten af det sympatiske nervesystem.

1. Sympatomimetiske stoffer fremmer effekten af det sympatiske nervesystem og sætter kroppens alarmberedskab i gang. Adrenalin er det sympatiske nervesystems eget signalstof, og det er derfor sympatomimetisk. Adrenalin brug til behandling af for lavt blodtryk ved shocktilstande. Andre typer af sympatomimetiske stoffer er amfetamin og kokain, som giver brugere en kunstig følelse af at være opstemte og opkvikkede, men samtidig påvirker kredsløbet og kan give farlige bivirkninger som uregelmæssig, hurtig hjerterytme, feber, krampe og shock. Lægemidlet efedrin, som tidligere er blevet brugt som slankemiddel da det fjerner appetitten, er nu forbudt at sælge til håndkøb i Danmark, fordi det er sympatomimetisk og på samme måde som amfetamin kan have farlige bivirkninger på hjertet og kredsløbet. I stedet kan det ligesom adrenalin bruges på hospitalet til at behandle shock.
2. Sympatolytiske stoffer undertrykker det sympatiske nervesystem og tvinger dermed kroppen ind i en kunstig rolig tilstand. Hjertets arbejde vil blive nedsat, blodtrykket falder, og luftvejene trækker sig sammen. Et eksempel på et sympatolytisk stof er betablokkere, som er medicin, der bruges ved forhøjet blodtryk eller hurtig og uregelmæssig hjerterytme. Nogle studerende tager også betablokkere mod eksamensangst, da sympatolytisk medicin undertrykker symptomer på nervøsitet som sved og rystende hænder, men medicinen kan også påvirke hjernen og give svimmelhed, søvnforstyrrelser og depression.

10.3 Det parasympatiske nervesystem

Det andet af de to nervesystemer, som tilsammen udgør det autonome nervesystem, er *det parasympatiske nervesystem*, på latin også kaldet *parasympaticus*. Det er den del af det autonome nervesystem, som opbygger kroppens reserver, når vi hviler os.

Når vi har indtaget et måltid mad, er det parasympaticus, som sætter gang i fordøjelsen af maden ved at øge aktiviteten i og blodtilførslen til mavesækken og tarmene. Der vil ske en stigning i forskellige kirtlers produktion af spyt og fordøjelsesenzymer, og der vil også blive udskilt hormoner, som signalerer til kroppen om at opbygge sine energidepoter med fedt og sukker, samt reparere skadet væv. Vejrtrækningen er langsom, hjertet slår langsommere og blodtrykket falder derfor også. Da kroppen er i hvile og



musklerne i ro, vil det meste af blodet blive sendt til de indre organer for at hjælpe fordøjelsesprocessen og bære optagede næringsstoffer fra tarmen ud i kroppen.

Den parasympatiske reaktion har mere lokaliserede virkninger end det sympatiske nervesystem og kan variere sin effekt efter kroppens behov. Det parasympatiske nervesystem bruger et signalstof, som hedder acetylkolin.

Der findes stoffer, som kan påvirke det parasympatiske nervesystem. *Parasympatomimetisk* medicin vil øge effekten af det parasympatiske nervesystem, mens *parasympatolytisk* medicin nedsætter effekten af det parasympatiske nervesystem.

1. Parasympatomimetiske stoffer vil overordnet have samme effekt som sympatolytiske stoffer, da man ved at hæmme den ene halvdel af det autonome nervesystem automatisk vil fremme den anden. Bl.a. vil parasympatomimetiske stoffer sænke pulsen og blodtrykket. Derudover vil parasympatomimetiske stoffer også øge de særlige funktioner, som det parasympatiske nervesystem varetager alene, bl.a. produktion af spyt, tårer og slim i fordøjelsessystemet, og øge tarmens bevægelser. Et eksempel på et stof, der er parasympatomimetisk, er acetylkolin, som også laves af kroppen selv og er et af nervesystemets vigtigste signaleringsstoffer. Kunstigt fremstillet acetylcholin bruges i medicin mod sygdomme, som påvirker nervesystemet, bl.a. Alzheimers demens og muskellammelse. Nikotin, som findes i cigaretter, er også et parasympatomimetisk stof, og mange rygere synes derfor, at de slapper bedre af, når de ryger.
2. Parasympatolytiske stoffer er stoffer, som overordnet vil have en effekt lig de sympatomimetiske stoffer. Bl.a. vil de få luftvejene til at udvide sig, og det parasympatolytiske stof Tiotropium bruges derfor i behandling ved KOL (Kronisk Obstruktiv Lungesygdom, også kendt som 'rygerlunger'). Desuden bruges parasympatolytika som for eksempel butylscopolamin mod inkontinens, da de modvirker de parasympatiske impulser mod at tømme blæren, og mod krampagtige smerter i tarmene og galdeveje. Parasympatolytika kan også øge pulsen; f.eks. bruges lægemidlet atropin ved hjertestop til at øge pulsen og blodtrykket. Atropin bruges også ved øjenoperationer, fordi det får pupillen til at udvide sig så øjenlægen bedre kan se ind i øjet.



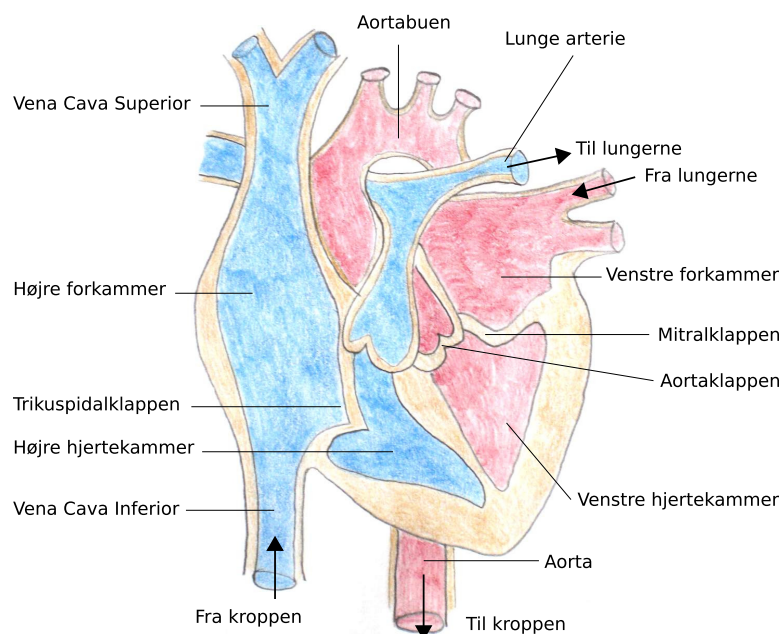
11 Hjertet

Menneskets hjerte er ca. på størrelse med en knytnæve og sidder placeret i brysthulen, lidt til venstre for midtlinjen. Hjertet består af to pumper, henholdsvis *højre hjertehalvdel* og *venstre hjertehalvdel*, der er vokset sammen i et enkelt organ. Den højre hjertehalvdel pumper blod gennem lungekredsløbet, hvor blodet afgiver kuldioxid og modtager ilt fra luften i lungerne, mens den venstre hjertehalvdel pumper blod gennem det systemiske kredsløb, som forsyner resten af kroppen med iltholdigt blod.

De to kredsløb er opbygget på samme måde; Blodet pumpes ud af hjertet og ind i pulsårerne, *arterierne*. Arterierne fører blodet til organerne, som skal forsynes med ilt og næringsstoffer. Her opdeles arterierne først i mindre pulsårer, *arterioler*, og herefter i en masse bittesmå kar, kaldet hårkar (på latin *kapillærer*), som kan fordele blodet ud til alle kroppens celler. På den anden side af vævene samles hårkarrene igen, først i små *venoler*, så i større vener, som fører blodet tilbage til hjertet, og så starter kredsløbet forfra igen.

Det systemiske kredsløb, der forsyner hele kroppen, er meget større end lungekredsløbet, der kun forsyner lungerne. Derfor er venstre hjertehalvdel større end højre hjertehalvdel, så det kan pumpe kraftigt nok til at drive blodet rundt.

Hver af de to hjertehalvdele består af to kamre: forkammeret (på latin *atriet*) og hjertekammeret (*ventriklen*). Forkammeret opsamler blod, som føres tilbage fra kredsløbet af venerne, og pumper det videre ind i hjertekammeret, der fungerer som en højtrykspumpe og sender blodet tilbage ud i kredsløbet igennem pulsårerne. Hvert hjertekammer har to åbninger: én, hvor blodet løber ind i kammeret, og én, hvor blodet presses ud af kammeret når hjertet pumper. Åbningerne er dækket af klapper, der åbnes og lukkes på skift, sådan at blodet altid kun kan løbe den rigtige vej rundt. Åbning og lukning af hjerteklapperne kan høres som hjertelyde. Se figur 21.



Figur 21: Hjertets opbygning. Højre hjertehalvdel, hvor det afiltede blod pumpes fra kroppen til lungerne, er markeret med blå og venstre hjertehalvdel, hvor det iltede blod fra lungerne pumpes videre til kroppen er markeret rød.

11.1 Hjertefysiologi

Hjertet er en enkelt stor, sammenhængende muskel, som arbejder ved rytmiske, koordinerede sammentrækninger af de forskellige dele i en nøje bestemt rækkefølge for at pumpe blodet fra forkamrene ind i hjertekamrene og videre ud i kroppen. Hjertets muskelceller trækker sig sammen, når de modtager et lille elektrisk signal fra andre celler omkring dem. Koordinationen af hjertets arbejde sker i hjertets impulsledningssystem, der både skaber det elektriske signal, som starter sammentrækningen, og spreder signalet ud til forskellige dele af hjertet i den rigtige rækkefølge. Impulsledningssystemet har to knuder, som henholdsvis skaber og spreder det elektriske signal: Sinusknuden, som ligger øverst i højre forkammer, og AV-knuden, som ligger nederst i højre forkammer, på grænsen til hjertekammeret.

Signalet, der sætter gang i hjertets sammentrækning, skabes spontant i sinusknuden. Den kaldes derfor også for hjertets "pacemaker". Cellerne her øger deres elektriske potentiale, og spændingsændringen spredes gennem bundter af muskelfibre til forkamrene, som trækker sig sammen og pumper blodet ind i de åbne hjertekamre. Når det elektriske signal har gennemløbet forkamrene, når det til sidst ned til AV-knuden i bunden af højre forkammer. Her bliver signalet forsinket, så forkamrene kan nå at tømme sig helt, inden AV-knuden sender signalet videre til hjertekamrene. Hjertekamrene vil nu også trække sig sammen og pumpe blodet ud i det store



og lille kredsløb.

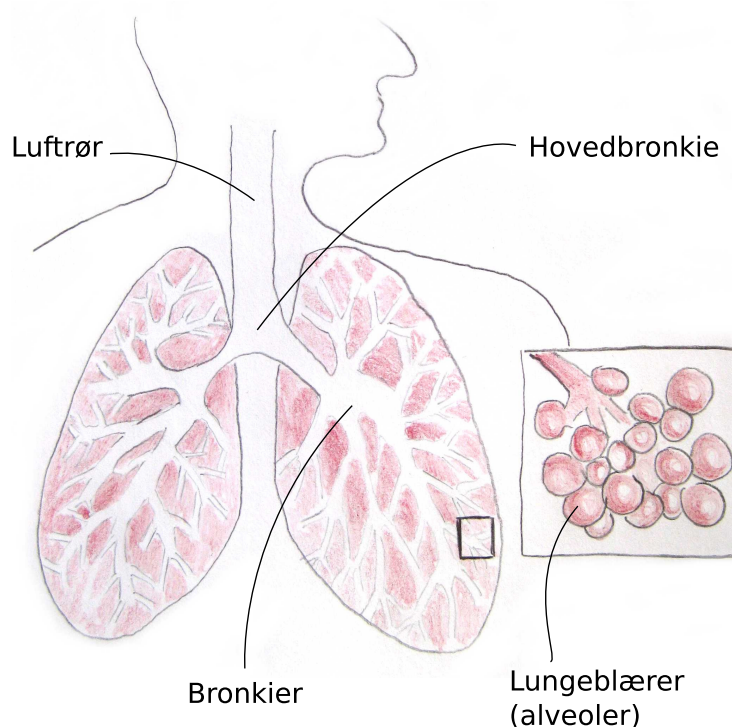
Sinusknuden vil uden påvirkning fra nervesystemet eller kroppens hormoner spontant affyre et elektrisk signal til hjertet med en frekvens på 60–100 slag i minuttet. I mange tilfælde er det dog hensigtsmæssigt, at resten af kroppen kan påvirke hjertets aktivitet, så det bliver derfor forsynet af nerver fra det autonome nervesystem. Hvis det sympatiske nervesystem aktiveres, så kroppen skal være klar til at yde maksimal fysisk kraft, vil hjertets slagfrekvens og sammentrækningskraft øges, helt op til 220 slag i minuttet. Hvis det parasympatiske nervesystem aktiveres, vil kroppen slappe af, og hjertets slagfrekvens kan falde til 60 slag i minuttet eller endnu lavere for trænede sportsfolk. Herved tilpasses hjertets pumpearbejde til resten af kroppens behov for ilt og næring.

12 Lungerne

Mennesket har to lunger placeret i brysthulen. Deres funktion er at udveksle ilt og kuldioxid mellem luften omkring os og kroppens blod, og de kan i gennemsnit rumme 3 liter luft.

Luften føres til lungerne gennem de øvre og de nedre luftveje. De øvre luftveje starter i mund- og næsehulen og fortsætter i svælget. Her passerer både indåndingsluft og føde samme vej, men ved overgangen til struben adskilles luftvejene fra fordøjelseskanalen. Her starter de nedre luftveje, som består af struben og luftrøret. Strubehovedet ligger nederst i svælget og kan føles på forsiden af halsen som adamsæblet. Det har et låg, strubelåget, som vipper ned, når man synker og forhindrer mad og væske i at komme ned i luftvejene. Lukker strubelåget ikke helt tæt, kan man "få noget i den gale hals", dvs. ned i de nedre luftveje, og det vil fremkalde kraftig hosten indtil maden eller væsken er kommet op igen. Stemmebåndene, som vi bruger til at frembringe tale, sidder også i strubehovedet.

Luftrøret består af hesteskoformede ringe af brusk med åbningen bagudrettet og kan mærkes på forsiden af halsen under strubehovedet. Det deler sig i brysthulen i to store grene, hovedbronkierne, som igen deler sig i mindre bronkier og til sidst i små bronkioler, sådan at de nedre luftveje tilsammen kommer til at ligne et meget forgrenet træ, kaldet *bronkietræet*. I lungevævet ender bronkiolerne til sidst i små luftfyldte blærer, alveoler, der er omgivet af hårkar, hvor udvekslingen af ilt og kuldioxid mellem atmosfæren og blodet finder sted. Se figur 22. Lungernes overflade er hos nyfødte børn lyserøde, mens de hos voksne, især rygere og folk, der bor i storbyen, har blåsorte aflejringer af partikler af smuds og støv. Lungernes konsistens er blød og svampet, og de knitrer, når man trykker på dem, fordi luften presses ud af alveolerne.

**Figur 22:** *Lungerne*

Lungerne er omgivet af lungehinden. Lungehinden består af to blade, der hænger sammen langs kanten. Det ene blad ligger tæt ind til lungens overflade, mens det andet sidder fast på indersiden af brystvæggen og mellemgulvet. Imellem de to lag er der et undertryk, som gør, at når brystkassens muskler trækker ribbenene udad og øger undertrykket, vil lungerne også udspiles og suge luft ind gennem luftvejene som en omvendt blæsebælg. Når man trækker vejret ind (*inspiration*), skal musklerne arbejde for at udspile brystkassen, fordi lungevævet er elastisk, men når man puster ud (*expiration*), slapper musklerne af, og lungerne trækker sig sammen igen som en sluppet elastik og presser luften passivt ud. Kun når man anstrenger sig hårdt, f.eks. når man er forpustet efter at løbe, vil musklerne også arbejde aktivt for at få luften presset hurtigt ud igen.



13 Farmakologi og toksikologi

Farmakologi betyder frit oversat læren om lægemidler og er den gren af medicinen, som beskæftiger sig med lægemidlers optagelse, nedbrydning i kroppen og ikke mindst påvirkning af kroppen. Forskellen mellem lægemidler og giftstoffer er flydende. De fleste lægemidler vil i for store mængder være giftige, og både lægemidler og "giftstoffer" optages og udskilles fra kroppen via de samme mekanismer. Læren om selve giftstofferne og deres virkningsmekanismer samt om hvilke forgiftningssymptomer de kan forårsage i levende organismer kaldes toksikologi.

Farmakologi: Læren om lægemidler

Toksikologi: Læren om giftstoffer og deres virkning

I dette kapitel skal vi se på, hvordan forskellige stoffer interagerer med kroppen. Vi lægger ud med farmakodynamikken, dvs. hvad stoffet gør ved kroppen og bagefter skal I læse om farmakokinetikken, hvad kroppen gør ved stoffet.

Farmakologi kommer af græsk *φάρμακον*, *pharmakon* der oprindeligt betød gift, men i dag bruges om lægemidler eller kemiske substanser i kroppen, i bredeste forstand, og med endelsen "logos" der betyder læren om. Toksikologi kommer ligeledes fra græsk *τοξικοζ* - *toxicos* med endelsen "logos". Ordet toxicon er dog lidt mere kompliceret. Tox betyder oprindeligt en bue, og taxicos "det man bruger til buen", det vil sige pile. Men i krig brugte man "toxicon pharmakon", det vil sige "gift man bruger sammen med buen". Det vil sige forgiftede pile.

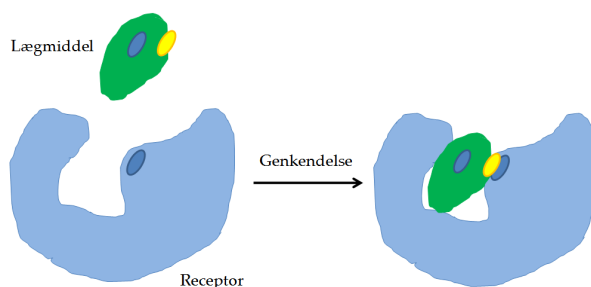


13.1 Farmakodynamik

De fleste stoffer påvirker helt bestemte biokemiske processer, som har indflydelse på, hvordan kroppens celler virker. Farmakodynamik er beskrivelsen af, hvordan kroppen reagerer på et stof (lægemiddel eller giftstof) som funktion af den indgivne mængde. Farmakodynamikken beskæftiger sig med:

- Hvordan virker stoffet og på hvilken måde?
- Hvor meget af et givet stof man skal have, for at det virker optimalt?
- Hvor meget af et givet stof kan man give/tage uden bivirkninger?
- Hvornår indtræder stoffets giftighed?

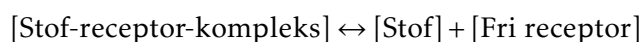
For at besvare disse spørgsmål benyttes bl.a. receptorkinetik, der er en model indenfor farmakodynamikken, der ser på interaktionerne mellem stof og receptor. (Se figur 23)



Figur 23: Til venstre: Model af et stof (her et lægemiddel) og en receptor. Til højre: Et stof (her et lægemiddel) bundet til en receptor. Modellen kaldes 'nøgle-i-lås'-modellen'

13.2 Sammenhængen mellem dosis og virkning

Sammenhængen mellem mængden af et stof og dets effekt er oftest ikke lineær - en dobbelt så stor dosis virker altså ikke nødvendigvis dobbelt så kraftigt. En mulig forklaring på dette er, at efterhånden som flere og flere receptorer påvirkes bliver bidraget ved aktivering af endnu en receptor relativt mindre. Dette kan vises ved at betragte ligevægtsreaktionen:





Ligevægtskonstanten for denne ligevægt kaldes for dissociationskonstanten, K_d :

$$K_d = \frac{[\text{Stof}] \cdot [\text{Frie receptor}]}{[\text{Stof-receptor-kompleks}]}$$

I ovenstående matematiske udtryk betegner [...] koncentrationen af det pågældende stof eller stof-kompleks. Dissociationskonstanten er et udtryk, som fortæller om et stort objekts evne til at adskille sig i mindre dele. Endvidere ved vi at:

$$[\text{Totalconc. af receptorer}] = [\text{Frie receptorer}] + [\text{Besatte receptorer}]$$

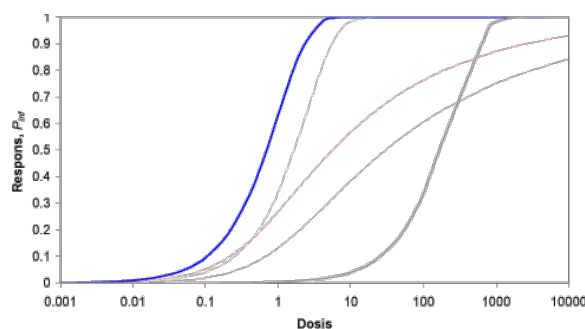
Hvis vi omskriver disse ligninger for at få et udtryk for andelen af besatte receptorer (stof-receptor-kompleks) får vi via en række matematiske omskrivninger:

$$\text{Andel besatte} = \frac{1}{1 + \frac{K_d}{[L]}}$$

Hvor $[L]$ er koncentrationen af lægemidlet.

Hvis man arbejder med et stof hvor virkningen er proportional med andelen af besatte receptorer har man således mulighed for at modellere virkningen ved brug af denne formel.

Hvis effekten af et stof kun er afhængig af andelen af besatte receptorer, kan 'Andel besatte' bruges som udtryk for virkningen af stoffet. En afbildning af sammenhængen mellem dosis og virkning kaldes en dosis-responskurve. Eksempler på disse kan ses i figur 24.



Figur 24: Eksempler på hvordan dosis-responskurver kan forløbe. Når koncentrationen af stoffet går mod nul vil $K_d/[L]$ gå mod uendelig, og andelen af besatte receptorer således mod nul. Hvis $[L] = K_d$ er andel besatte $\frac{1}{2}$, og hvis $[L]$ går mod uendelig går Andel besatte således (asymptotisk) mod 1, da $K_d/[L]$ bliver 'uendeligt lille'.



Dosis-respons kurven skal læses på den måde at på y-aksen er den procent-vise andel af personer, der har en effekt ved en given dosis, som kan aflæses på x-aksen. Hvis dosis-respons kurven er stejl, betyder det, at en lille mængde af stoffet giver en stor virkning, og der er tale om et meget effektivt (gift-)stof. På kurven kan man f.eks. aflæse ved hvilken dosis halvdelen af personerne oplever virkningen af stoffet. Dette tal kaldes for Effektiv Dosis 50

ED₅₀ står for Effective Dose, 50%, altså den dosis, der er virksom i 50% af tilfældene. Lad os for eksempel tage paracetamol, kendt som det aktive stof i Panodil®, Pamol® og Pinex®, der er et middel mod lette smerter som hovedpine: Hvis man lavede et forsøg på personer med hovedpine og gav dem stigende doser paracetamol, så kunne man observere, at når de alle havde fået 500mg, ville halvdelen af dem være sluppet for hovedpinen, dvs at stoffet har haft sin effekt. ED₅₀ for paracetamol ville derfor være 500mg (det svarer til 1 pille). Men da den anden halvdel af personer stadig vil have hovedpine og skal bruge en højere dosis for at få en effekt, anbefaler man faktisk at tage en dosis på 1g paracetamol (svarende til 2 piller) mod hovedpine. Når det handler om gifte, er det selvfølgelig mest interessant at finde et mål for hvor dødeligt et giftstof er. Derfor laver man her dosis-respons kurver med døden som "effekt". Helt svarende til ED₅₀ kan man ved disse kurver finde den dosis, hvor halvdelen af personerne ville være døde, såfremt de indtog den. Her tales der om Letal Dosis 50 eller LD₅₀. Til LD₅₀-bestemmelser bruges der af indlysende årsager dyr. Da alle stoffer i for stor mængde er toksiske, skal LD₅₀ bestemmes for alle lægemidler inden de kommer på markedet. Så vi kan tage paracetamol som eksempel igen: Hvis man tager for meget paracetamol, kan man dø af leversvigt. Hvor meget der skal til, for at man dør af paracetamol-forgiftning, kommer bl.a. an på hvor meget man vejer og hvor god man er til at udskille stoffet igen. Op mod 50% vil dø af en dosis på 136 g, dvs. 272 piller (dette tal er på basis af dyreforsøg). LD₅₀ angives ofte i forhold til kropsvægten. Nedenfor ses LD₅₀ for forskellige stoffer:

Stof	Dosis, indtaget
Vand	90.000 mg/kg
Etanol / alkohol	7.060 mg/kg
Penicillin	6.578 mg/kg
Paracetamol / Pamol ®	1.944 mg/kg
Lithium	526 mg/kg
Barium	118 mg/kg
Nikotin / Cigaretter	50 mg/kg
Cisplatin	25 mg/kg
Stryknin	16 mg/kg
Botulinumtoksin/pølseforgiftning/Botox	0,000001 mg/kg

Tabel 1: Bemærk alle tal er fra dyreforsøg og kan derfor ikke overføres direkte til mennesker.



Giftvirkning eller toksicitet kan deles i flere grupper. Mest relevant er det her at fokusere på den akutte og den kroniske forgiftning, samt om forgiftningens symptomer er permanente eller ophører igen efter et stykke tid. Den akutte toksicitet dækker over den toksiske effekt af en engangsdosis, fx en overdosis af paracetamol. Hvorimod kronisk toksicitet dækker effekterne af en langtidseksponering fx fra arsen i drikkevandet eller bly i vinen. Om skaderne er uoprettelige vil i høj grad afhænge af det specifikke stof, dosis, forværende faktorer og evt. behandling. Lad os vende tilbage til paracetamol: En toksisk dosis kan give akutte forgiftnings symptomer med hovedpine, mavesmerter og bevidstløshed, men ved passende behandling kan blivende skader modvirkes. Hvis den samme dosis paracetamol kombineres med alkoholisme eller for langsom behandling, vil der hurtigt opstå akutte permanente skader i leveren. Den eneste behandling vil i det tilfælde være en hurtig levertransplantation.

Det terapeutiske indeks angiver forholdet LD_{50}/ED_{50} - jo større terapeutisk indeks, jo 'sikrere' er et stof altså, idet der er længere mellem virkning og forgiftning. Terapeutiske indeks kan variere mellem 2-3 for meget giftige lægemidler så som digoxin (lægemiddel mod ustabil hjerterytme) til ca. 100 for diazepam (stesolid - beroligende medicin) og i visse tilfælde endda højere.



14 Farmakokinetik

Farmakokinetik beskriver, hvad kroppen gør med et stof. Den omhandler fire parametre for stoffers indvirken på kroppen

1. Optagelsen af stoffet (absorption). Absorption sker fortrinsvis fra mave-tarm systemet. Men den kan også ske fra huden eller lungerne (giftige gasser) og – især lægemidler – indgives direkte i blodårerne eller musklerne. Det er vigtigt at kende et giftstofs absorption for at kunne vurdere, hvor farligt det er at være udsat for det. Lithium, der bruges til behandling af maniodepressiv sygdom, absorberes næsten fuldstændigt fra tarmen, mens paracetamol kun optages 70-90%, dvs. at op mod 30% af den spiste dosis ikke kommer over tarmen og ind i kroppen. For morfin er tallet endnu lavere, her optages kun ca. 30% fra tarmen.
2. Fordeling af stoffet i kroppen (distribution). Distribution betegner fordelingen af et stof i organismen via blodet til væv og i sidste ende dertil, hvor det skal virke. Pga. forskellige stoffers forskellige opløselighed i fx. fedt og vand kan stoffer fordele sig meget forskelligt i kroppen. Nogle gifte vil have tendens til at ophobe sig fx. i fedt, knogler eller blodet. Der findes komplicerede modeller til beregning af fordelingen af lægemidler og giftstoffer i kroppen.
3. Omdannelsen/nedbrydningen (metabolisme). Metabolisme er omdannelse og nedbrydning af lægemidlet, som foregår i flere væv – særligt lever, tarmvæg, hud og lunger. Metabolismen har som hovedregel til formål at gøre molekylet mere vandopløselig, så det lettere udskilles. Mange metabolitter er inaktive, men nogle kan stadig være aktive, og nogle kan endda være toksiske.
4. Udskillelsen (ekskretionen). Udskillelse sker primært gennem to systemer: nyrerne og leveren. Mindre mængder af stoffer kan dog også udskilles via udåndingsluften, sved, tårer, hår eller brystmælk. Nogle stoffer udskilles direkte og udelukkende via nyrerne, fx cisplatin, kinin, kreatinin, litium og inolin. Det kan for disse stoffer lade sig gøre at måle mængden i urinen, og ud fra viden om mængden af dannet urin, beregne den samlede dosis i kroppen. Se mere om udskillelse, også kaldet clearance, under nyreafsnittet

Det er klart, at alle disse processer har indflydelse på stoffets effekt/giftighed.

$$\text{Dosis} - (\text{Absorption} \leftrightarrow \text{Ekskretion}) \rightarrow \text{Koncentration} \rightarrow \text{Effekt} \quad (34)$$

Hvis udskillelsen af stoffet er hurtig og meget effektiv, men absorptionen er lav og langsom, vil den højeste koncentration i kroppen ikke blive ret



høj. Hvis der derimod er tale om et stof med stor absorption og lille eller ingen udskillelse, f.eks. methyl-kviksølv, så vil den samlede koncentration i kroppen blive meget høj.

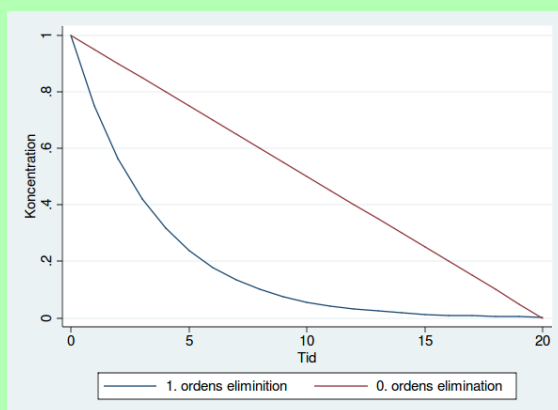
Elimination

På baggrund af de skitserede udskillelses-mekanismer kan faldet i koncentrationerne af et stof i kroppen beskrives. Denne fjernelse af stof fra kroppen kaldes elimination. Ved gentagne blodprøver kan koncentrationen af et stof bestemmes, og eliminationen udregnes.

Der skelnes normalt mellem to former for elimination, 0. og 1. ordens elimination.

Ved 0. ordens elimination forsvinder stoffet fra blodet med en fast hastighed – uanset koncentrationen. Det kendes f.eks. fra alkohol, hvor vi forbrænder en konstant mængde pr. tidsenhed. Forbrændingshastigheden afhænger for alkohol mest af leverens størrelse, hvilket gør, at de fleste af os forbrænder lidt over en halv genstand i timen. Uanset om vi har en promille på 0.2 eller 1.6.

Ved 1. ordens elimination bliver udregningen en smule mere kompliceret. Her afhænger eliminationshastigheden af koncentrationen af stoffet i kroppen. Der vil derfor være et hurtigere fald i koncentrationen, når der er en høj koncentration. Det kan forklares som, at der forsvinder en fast procent del fra blodet pr. tidsenhed. Dette kan f.eks. være nyrerne, der filtrerer blodet for en procentdel af stoffet, hver gang det passerer nyrerne.



Figur 25: Illustration af 0. og 1. ordens elimination.

Mine noter

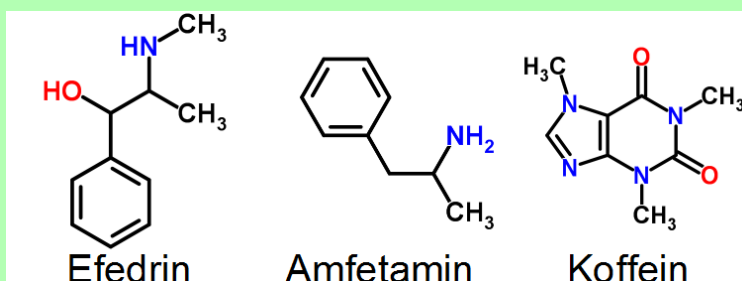


15 Introduktion til Del IV

Retskemikerens arbejdsopgaver er oftest at identificere en ukendt forbindelse (f.eks. fundet på et gerningssted), eller bekræfte tilstedeværelsen af en specifik kemisk forbindelse (f.eks. hvorvidt gerningsmanden var påvirket eller ej og i givet fald med hvad).

Retskemikernes arbejde - På sporet af sandheden

Retskemikeren arbejder bl.a. med at identificere ukendte stoffer som f.eks. narkotika eller gift ved at analysere deres kemiske sammensætning. Hertil anvendes forskellige metoder, bl.a. kromatografi og spektrometri. Et eksempel kunne være en pose med tabletter beslaglagt af tolderne i Kastrup Lufthavn, hvor politiet vil vide, om det er lovligt at importere og besidde disse tabletter. Ofte indeholder sådanne forsendelser nemlig enten dopingmidler eller ulovlige slankemidler. En ofte set kombination er koffein og efedrin, der anvendes som slankemiddel eller som præstationsfremmende stoffer i konkurrencer. Disse stoffer er i Danmark omfattet af lægemiddelloven, og forhandles ikke i håndkøb. Som det ses på nedenstående strukturformler er der store ligheder mellem efedrin og amfetamin, så disse kan reagere ens på simple "farvetests". Det er således retskemikerens arbejde at opklare præcist, hvilket stof det drejer sig om.



At identificere et stof vil sige at finde ud af dets kemiske struktur, dvs. hvilke grundstoffer det er sammensat af og på hvilken måde. Traditionelt opdeles analysen i to typer, nemlig *Kvantitativ analyse*, der siger, hvor meget, der er af et givent stof og *Kvalitativ analyse*, der siger hvilke enkeltdele, der er, og evt. også fortæller noget om, hvordan stoffet er sat sammen.

I dag bruges fysisk-kemiske metoder som spektroskopi (målinger vha. elektromagnetisk stråling) til at identificere stoffer og kromatografiske metoder til at adskille og identificere stoffer.



Kvalitativ analyse: Her identificeres et ukendt stof

Kvantitativ analyse: Her bestemmes mængden af et stof

En anden måde at opdele analysemetoder i er i *uorganisk stofidentifikation* og *organisk stofidentifikation*. Inddelingen i uorganisk og organisk er ikke helt skarp, men generelt indeholder organiske stoffer kulstof (C) bundet til brint (H) og uorganiske gør ikke.

Uorganiske forbindelser: Studie er materialer, der indeholder en hvilken som helst kombination af grundstoffer, undtagen organiske forbindelser.

Organiske forbindelser: Kemiske forbindelser hvis molekyler indeholder kulstof-atomer (C) bundet til brint-atomer (H).

I tabel 2 ses hvorledes kemien opdeles i en uorganisk og en organisk gren, hvor stofferne kan identificeres enten kvalitativt eller kvantitativt. De metoder og teknikker, som anvendes i den kvalitative og kvantitative identifikation er ofte de samme. I *Retsmedicin i Naturfagsundervisningen: Sagen opklaret* beskæftiger vi os primært med kvalitative analyser.

	Kvalitativ	Kvantitativ
Uorganisk	Opløselighed Flammefarve	
Organisk	Spottest Spektroskopi TLC	Gaskromatografi

Tabel 2: Tabellen viser, hvorledes uorganisk og organisk kemi kan inddeles i kvalitativ og en kvantitativ del. På dette forløb, vil der primært blive arbejdet med kvalitative analyser, som er markeret med grønt i figuren.

I kapitel 16 og 17 bliver kvalitative analyser af uorganiske og organiske forbindelser beskrevet. Kapitel 16 beskriver, hvorledes uorganiske forbindelser kan identificeres ved simple metoder (opløselighed/fældningsreaktioner og flammefarve), og kapitel 17 beskriver, hvordan organiske forbindelser kan adskilles med kromatografi og analyseres med spektroskopiske metoder.



16 Uorganisk stofidentifikation

Uorganisk kemi dækker over de kemiske forbindelser, der ikke indeholder kulstof (C) bundet til brint (H). F.eks. er karbonater (CO_3^{2-}) og cyanider (CN^-) uorganiske ioner, selvom de indeholder kulstof, da det ikke er bundet til brint.

Den uorganiske identifikation har haft stor betydning indenfor mange forskellige fag og felter. Udover kemikere har f.eks. geologer, og guldgravere brug for at kunne identificere hvilke metaller og forbindelser, der er i en given prøve. Mange af de identifikationstest, som man bruger i dag har ikke ændret sig væsentligt siden teknikkerne blev skabt for flere hundrede år siden. Nogen af dem er blevet overladt til apparater, der kan foretage en given analyse meget hurtigere og mere præcist, men de grundlæggende principper er ofte de samme.

Indenfor den uorganiske kemi kan en kvalitativ analyse bestå i at identificere ioner ved undersøgelse af opløselighed og fældningsreaktioner. Således danner en sur opløsning af chloridioner hvidt bundfald ved tilsætning af sølvioner, mens en opløsning indeholdende bromidioner danner et lysegult bundfald, og en opløsning indeholdende iodidioner danner et gult bundfald:



Opløselighed og fældningsreaktioner er to sider af samme sag, som vil blive gennemgået i det følgende afsnit. Desuden anvendes flammefarver hyppigt i forbindelse med kvalitativ analyse for uorganiske forbindelser. Dette ser vi nærmere på i afsnit 16.2.

16.1 Opløselighed

Når ukendte uorganiske forbindelser skal identificeres undersøges først deres opløselighed (i vand, syre eller base) og siden deres evne til at danne bundfald og hvorledes disse bundfald ser ud og opfører sig (se f.eks. formel 35, 36 og 37). En simpel oversigt over opløseligheden af en række almindelige ioner kan ses i tabel 3.



	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Pb ²⁺	Ag ⁺
NO ₃ ⁻	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Cl ⁻	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	T	T
Br ⁻	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	T	T
I ⁻	L	L	L	L	L	-	L	-	L	L	T	T
SO ₄ ²⁻	L	L	L	L	L	L	L	L	T	T	T	T
CO ₃ ²⁻	L	L	L	T	T	-	T	-	T	T	T	T
OH ⁻	-	L	L	T	T	T	T	T	T	L	T	-
S ²⁻	L	L	L	T	T	T	T	T	T	T	T	T
PO ₄ ³⁻	L	L	L	T	T	T	T	T	T	T	T	T

Tabel 3: Letopløselige (L) og tungtopløselige (T) salte.

Man har selvfølgelig kendskab til de nøjagtige opløseligheder af de forskellige salte, og også mange flere end man kan se i tabel 3. Dette kan godt få opgaven med at identificere en uorganisk forbindelse ud fra dets opløseligheder til at virke lidt uoverkommelig. Det virker jo ikke praktisk muligt, at teste en uorganisk prøve op mod samtlige kendte ioner – det vil kræve lang tid, for meget prøve eller for mange penge. I praksis udnyttes derfor, at nogle reaktioner kan udelukke, eller inkludere mange forbindelser med ens egenskaber på én gang.

De kemiske egenskaber er nært knyttet til en forbindelses placering i det periodiske system (se figur 26). For eksempel reagerer alle alkalimetallerne (1. hovedgruppe, dvs. natrium (Na), kalium (K), lithium (Li) etc.) næsten ens på mange tests, så hvis man først har udført én test, der viser, at forbindelsen kommer fra 1. hovedgruppe, så er mængden af forbindelser, der skal testes for, allerede blevet meget mindre.

		Gruppe																III	IV	V	VI	VII	VIII		
		I	II																						
Periode	1	1 H																							2 He
	2	3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
	3	11 Na	12 Mg																	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
	4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
	5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
	6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
	7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo						
	8	119 Uun																							
				* Lanthanides																					
				** Actinides																					
				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu							
				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr							

Figur 26: Det periodiske system.

Generelt vil forbindelser, der står under hinanden i det periodiske system være meget kemisk ens, og det skyldes, at de alle har samme antal elektroner i deres yderste skal. (Se figur 26). Det gør, at de kan optage eller afgive den samme mængde elektroner på samme måde, og derfor indgår de i kemiske forbindelser på næsten samme måde. Eksempelvis danner chlor ioner med én negativ ladning, mens både natrium, kalium og lithium



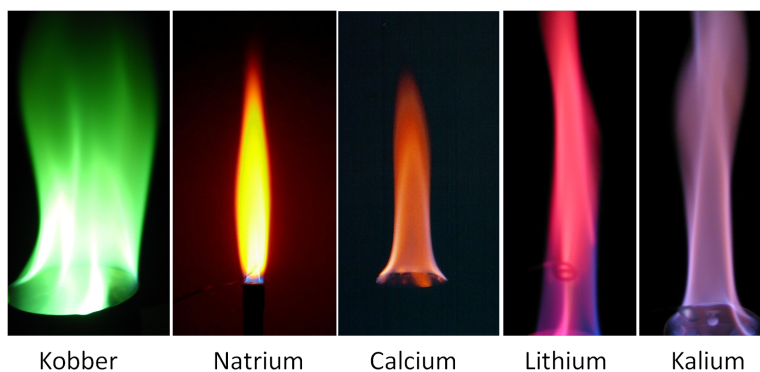
danner ioner med én positiv ladning. Derfor dannes 1:1 salte mellem dem. NaCl, KCl og LiCl vil derfor også have, om ikke ens, så sammenlignelige opløseligheder.

Hvis vi samler al denne viden om, hvordan forskellige grupper af forbindelser reagerer, og kombinerer den med de kendte reaktioner, som kan adskille og identificere forbindelser indenfor de enkelte grupper, bliver opgaven pludselig meget lettere. Derfor kan fremgangsmåden for uorganisk identifikation i starten virke en smule forvirrende, men i virkeligheden er der tale om mange års erfaringer og viden, der er koncentreret ned til den korteste vej til sikker identifikation. En vejledning til fældningsreaktioner findes i del VI.

Det sidste trin i uorganisk stofidentifikation vil ofte være en undersøgelse af flammefarve. Dette er der en god grund til, da det er en god måde at bekræfte en stofidentitet på. Du kan læse mere om flammefarver i næste afsnit.

16.2 Flammefarver

Langt de fleste metalioner udsender synligt lys med en karakteristisk farve, hvis de opvarmes tilstrækkeligt kraftigt - typisk i en flamme. Den mest velkendte er nok natrium, hvis kraftige, klare gule flammefarve for eksempel kan ses, hvis kartoflerne koger over på et gaskomfur (Se evt. figur 27)



Figur 27: *Flammefarver*

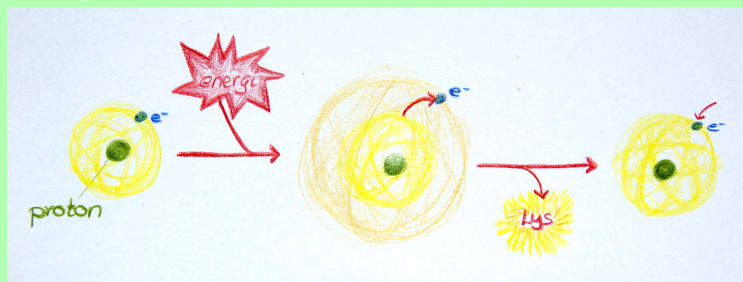
Årsagen til at metaller i det hele taget udsender lys, og at lyset har forskellige farver afhænger af metalionen, skyldes fordelingen af elektroner i ionen. Se nærmere i faktaboksen på næste side. Alle atomer har en forskellig fordeling af elektroner, så hvert atom vil udsende en unik kombination af lys. Bruger man et spektroskop, der kan adskille de forskellige bølgelængder i lyset, vil man meget let kunne se, at der er tale om relativt få meget skarpe overgange. Ved hjælp af dette relativt simple værktøj kan man få endnu mere information om et stofs identitet, alene ud fra flammefarve.



Man skal være opmærksom på at især natrium har en meget kraftig farve, der godt kan "drukne" en svagere farve, selv ved en meget lille forurening. Endnu en grund til at arbejde omhyggeligt i laboratoriet!

Elektronfordeling giver farver

Når salte opvarmes udsender de energi som lys med en bølgelængde i det synlige spektrum, der giver nogle karakteristiske farver. Dette benyttes f.eks. i fyrværkeri.



Figur 28: Absorption og emission af lys fra et brintatom.

Det simplest mulige tilfælde er brintatomet, der består af én elektron, der kredser om én proton. Modtager en elektron en energimængde, som svarer til forskellen mellem dens nuværende bane og en mere energirig bane, absorberer elektronen energien og bruger den til at springe til den nye bane – elektronen siges nu at være exciteret. Omvendt kan en exciteret elektron henfalde ved at springe tilbage til en bane, der repræsenterer mindre energi. Ved den lejlighed "tilbagebetaler" elektronen energiforskellen ved at udsende lys svarende til en bølgelængde, der afhænger af den frigivne mængde energi.

Lige så snart der kommer mere end en enkelt elektron i kredsløb om atomkernen bliver antallet af mulige overgange meget hurtigt stort og uoverskueligt, men ofte vil det være nogle få, der dominerer billedet, og derfor vil lyset fra opvarmede ioner for det meste have klare farver fra få overgange.



Opgave 5: Find 23 navne på kemiske metaller i tabellen. Ordene kan stå vandret fra venstre til højre og lodret oppefra og ned.

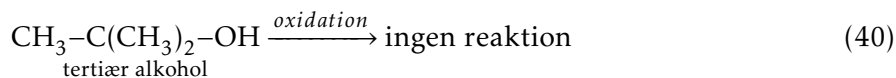
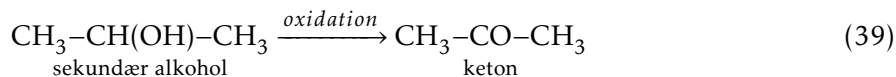
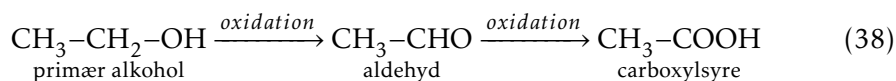
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	E	M	Ø	S	Q	U	C	T	N	O	V	F	Z	W	Z	G
2	H	H	D	X	J	U	P	Å	Æ	T	H	U	K	R	O	M
3	I	U	C	M	V	B	L	O	U	Z	Å	C	A	F	F	A
4	S	Q	B	E	Y	D	A	M	K	O	B	O	L	T	J	G
5	F	Ø	N	S	Q	G	T	S	V	Ø	F	Z	I	N	K	N
6	Y	N	A	L	U	M	I	N	I	U	M	B	U	C	O	E
7	K	N	T	I	T	A	N	I	K	K	E	L	M	C	B	S
8	R	Q	R	Y	D	N	Ø	O	S	Z	U	Y	S	W	B	I
9	P	L	I	T	I	U	M	R	Ø	R	U	G	Q	I	E	U
10	P	G	U	C	I	R	C	A	L	C	I	U	M	D	R	M
11	L	A	M	G	W	A	W	D	V	E	M	L	B	J	Q	W
12	Æ	K	J	E	R	N	O	I	D	R	D	D	O	C	H	A
13	K	V	Y	S	F	M	L	U	O	I	N	A	I	I	A	N
14	G	I	C	Æ	S	I	U	M	M	U	M	Ø	W	Å	P	L
15	K	M	Å	Å	N	L	X	U	B	M	F	Ø	E	Z	B	T
16	F	N	Z	J	Æ	Q	J	E	D	E	I	O	X	G	V	J

17 Organisk stofidentifikation

Når man skal identificere en organisk forbindelse, er man nødt til at gribe det noget anderledes an, end hvis man skal identificere for eksempel en metal-ion. Selvom der er mange metaller at afprøve, så er det dog intet imod de næsten 57 millioner² organiske forbindelser, der kendes.

Den klassiske organiske stofidentifikation, der stadig anvendes i nogen grad (dog primært til undervisningsformål!), består bl.a. i at påvise funktionelle grupper. Funktionelle grupper kan bestemmes ved simple kemiske reaktioner. Eksempelvis kan alkoholer oxideres til aldehyder og carboxylsyrer, hvis de er primære, til ketoner, hvis de er sekundære, og slet ikke hvis de er tertiære.

²Forsiden af www.cas.org, 13 februar 2011.

**Inddeling af alkoholer:**

Hydroxygruppens ($-\text{OH}$) placering i molekylets carbonkæde har stor betydning for alkoholars egenskaber ved kemiske reaktioner. f.eks. ved oxidation af alkoholer. Derfor inddeles alkoholer i primære, sekundære og tertiære alkoholer således:

I en primær alkohol sidder hydroxygruppen for enden af carbonkæden.

I en sekundær alkohol sidder hydroxygruppen inde i kæden.

I en tertiær alkohol sidder hydroxygruppen ved en forgrening i kæden.

Opgave 6: Tegn en primær alkohol, en sekundær alkohol og en tertiær alkohol med sumformlen $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

Carboxylsyrer ($-\text{COOH}$) og aminer ($-\text{NH}$) er hhv. sure og basiske, og har hver deres reaktioner, der tillader identifikation af dem. På campen vil I komme til at udføre påvisninger af funktionelle grupper. En vejledning hertil findes i del VI.

Opgave 7: Repeter de funktionelle grupper for: a) alkohol, b) aldehyd, c) amid, d) primær amin, e) carboxylsyre, f) ester og g) keton.

I dag foregår næsten al organisk stofidentifikation ved hjælp af apparat-teknik, og i meget lille grad ved hjælp af klassisk "våd" kemi. Identifikation af organiske stoffer sker i dag vha. spektroskopiske metoder som NMR (Nuclear Magnetic Resonance), IR (Infrarød) og UV (Ultraviolet). Ofte anvendes mange af disse metoder på en enkelt prøve, da man kun skal bruge få μg pr. analyse i modsætning til tidligere, hvor man ofte skulle bruge flere hundrede mg bare til en enkelt analyse. Mange moderne metoder er i tilgift ikke-destruktive, så man kan "genbruge" prøven i andre analyser.

Disse metoder har stort set erstattet de klassiske kemiske metoder. Fordele-ne ved de spektroskopiske metoder er, at de er uhyre følsomme (nogle få μg eller mg af stoffet er som regel tilstrækkeligt), og at det er forholdsvis simpelt at omsætte de eksperimentelle spektroskopiske data til information



om molekylstrukturen. Endvidere skal det nævnes, at de spektroskopiske eksperimenter, bortset fra MS (masse-spektrometri), ikke destruerer prøven, og det er således muligt at foretage flere spektroskopiske målinger på de samme få mg af prøven.

MS giver information om massen af molekylet samt af en række molekylfragmenter. Læs mere om MS i kapitel 22. UV giver information om tilstedeværelse af udstrakte pi-elektron systemer (konjugerede dobbelt/tripelbindinger, aromatiske systemer) og deres struktur, mens IR især giver information om tilstedeværelse af enkelt/dobbelt/tripel bindinger og funktionelle grupper. NMR-spektre fortæller om antallet af brint og kulstofatomer i molekylet, de elektroniske omgivelser for de enkelte H/C atomer, samt hvordan brintatomerne er anbragt i forhold til hinanden.

De eksperimentelle teknikker for NMR, IR og UV ligner i princippet hinanden, selvom NMR-teknikken i praksis afviger en hel del fra IR og UV. Det eksperimentelle princip går ud på at bestråle prøven med elektromagnetisk stråling og måle ved hvilke frekvenser eller bølgelængder, der sker absorption eller emission; for NMR er det endvidere nødvendigt, at prøven er anbragt i et stærkt magnetfelt. Den eksperimentelle teknik for MS går ud på at ionisere og delvis nedbryde prøven og bestemme massen af de derved dannede ioner.

Til identifikation af organiske stoffer bruges således en række forskellige teknikker, som alle giver små informationer om den ukendte forbindelse. Som i et puslespil stykker retskemikeren disse informationer sammen til et helt billede og får dermed identificeret den ukendte forbindelse. Som nævnt ovenfor bruges der en række spektroskopiske metoder (f.eks. NMR og MS) til identifikation af organiske forbindelser. Men der anvendes også en række kromatografiske metoder (HPLC, GC og TLC) til identifikation af organiske forbindelser. Det overordnede princip bag kromatografi gennemgås i næste afsnit.

17.1 Kromatografiske metoder

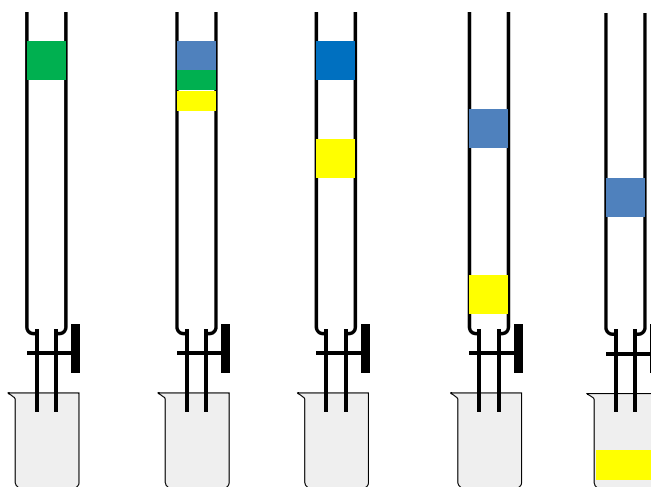
Kromatografi er en fællesbetegnelse for en række teknikker, der anvendes til adskillelse af blandinger i lille eller stor skala. Dette kan man naturligvis bruge til at oprense urene stoffer med, men kromatografi anvendes også meget i den analytiske kemi, da det er langt lettere at måle på ét stof ad gangen, i stedet for en blanding. I al kromatografi arbejder man med en stationær fase, der ikke bevæger sig, og en mobil fase, der bevæger sig, og derved flytter og adskiller de enkelte stoffer i blandingen.

Det grundlæggende princip bag kromatografi er, at forskellige stoffer har forskellig tilbøjelighed til at fordele sig i hhv. den stationære og den mobile fase. Det betyder kort sagt, at jo mere et stof er tilbøjelig til at befinde sig i



den stationære fase, desto langsommere bevæger det sig.

Den mobile fase, f.eks. en væske eller en gas, ledes gennem den stationære fase, f.eks. silica. Blandingen af de stoffer, man ønsker adskilt, de såkaldte analytter, opløses i den mobile fase og afhængig af de forskellige analytters fordelingskoefficient, vil disse have større eller mindre tendens til at være i den stationære fase eller den mobile fase. Dette resulterer i at analytterne kommer ud af systemet på forskellige tidspunkter. Tiden det tager en analyt at passere gennem systemet kaldes retentionstiden.



Figur 29: Princippet i kromatografi

Mange typer kromatografi kan køres på to forskellige måder: normal og omvendt fase kromatografi. I normal fase kromatografi er den stationære fase polær (f.eks. silica). Dette bevirker, at de upolære analytter vil forlade systemet først og dermed have den korteste retentionstid, da disse vil have større affinitet for den mere upolære mobile fase. I omvendt fase kromatografi er den stationære fase mere upolær end den mobile fase og derfor vil de polære stoffer have kortest retentionstid. Læs mere om TLC og gas kromatografi i kapitel 21.2.

**Polaritet og opløselighed**

At man ikke kan blande olie og vand skyldes at vand er polært og olie er upolært. Polære molekyler "hænger sammen" ved hjælp af elektriske kræfter, som ikke er til stede i upolære molekyler. Det er således svært for et upolært molekyle at "passe ind" i den struktur som polære molekyler har med hinanden, da det vil betyde, at det upolære molekyle skal bryde en elektrisk binding, men ikke kan danne en ny. Dette kræver så meget energi, at det ikke kan forekomme. På samme måde er polære stoffer opløslige i polære opløsningsmidler som vand, men ikke opløselige i olie. Dette gælder f.eks. salt. Andre, upolære stoffer er opløselige i upolære opløsningsmidler som olie og terpentin, men ikke i vand. Dette gælder f.eks. for mange farvestoffer.

Mine noter

[illegible]





18 Introduktion til Del V

Denne del af kompendiet indeholder uddybende teori og baggrundsinformation om nogle af de metoder og processer I vil komme til at arbejde med. Del V er tiltænkt den nysgerrige læser, som gerne vil have uddybende forklaringer.

Delen indeholder følgende kapitler

- Hvad er varme. En uddybning af afsnit 4.2.
- Formelsamling til fysik. En formelsamling, som anvendes i relation til kapitel 5.
- Kromatografi. Uddybende teori til afsnit 17.1.
- Massespektrometri. En beskrivelse i relation til afsnit ??.

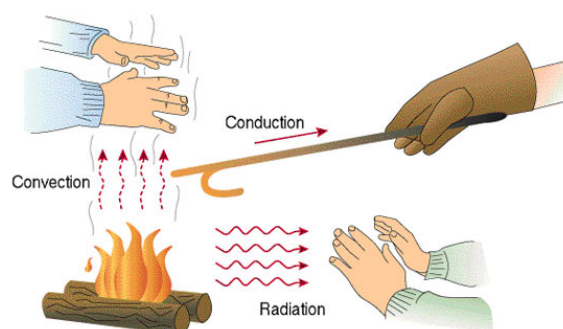
19 Hvad er varme?

Alt omkring os er opbygget af atomer. Atomerne er samlet i molekyler, der sidder mere eller mindre tæt sammen. Det vigtige er, at atomer og molekyler ikke ligger stille, men bevæger sig i forhold til hinanden. Jo hurtigere de bevæger sig, jo mere kinetisk energi (bevægelsesenergi) har de, og det er den samlede mængde af den kinetiske energi i materialet, der beskrives som varme.

Når vi aflæser et termometer aflæser vi faktisk middelværdien af kvadratet på hastigheden af de molekyler, som luften (eller hvad vi nu måler) består af.



19.1 Varmeledning



Figur 30: De tre former for varmetransport

Varmeledning dækker over tre begreber: konduktion, konvektion og stråling, som vil blive gennemgået i dette kapitel (se figur 30). Konduktion, konvektion og stråling er alle måder til at transportere energi (varme) fra et sted til et andet. Metoden og situationen for de tre varierer dog kraftigt. Inden de tre typer varmeledning beskrives, er det vigtigt at huske, at naturen, som udgangspunkt, altid vil forsøge at nå en ligevægt, hvilket vil sige, at vi vil nærme os en situation, hvor atomerne og molekylerne har den samme gennemsnitshastighed i hele materialet. Eller sagt på en anden måde så vil naturen forsøge at få temperaturen overalt til at blive den samme.

19.1.1 Konduktion

Konduktion foregår ved at bevægelserne af atomer og molekyler påvirker bevægelserne af de atomer og molekyler i nærheden af dem. Det betyder, at de hurtige atomer og molekyler vil afgive noget af deres hastighed til de langsomme. Over tiden vil det betyde, at gennemsnitshastigheden af atomerne og molekylerne i materialet vil blive ens, hvilket giver en ensartet temperatur.

Derfor hulmursisolerer vi huse

Overførsel af hastighed fra hurtige molekyler til langsomme molekyler fungerer bedst, hvis der er mange atomer og molekyler tæt sammen. Det er derfor, at konduktion som regel er mest effektiv i faste stoffer, hvor atomerne og molekylerne sidder tæt sammen.

I væsker og gasser er konduktionen så dårlig, at vi som regel ser bort fra den. Dette er også grunden til, at man kan bruge luft til at isolere med. Når man har stillestående luft, som ved hulmursisolering eller i en dunjakke, vil det være svært for varmen at blive transporteret fra det varme område (hhv. kroppen og indersiden) til de køligere omgivelser.



19.1.2 Konvektion

Ved konvektion sker varmeudvekslingen ikke ved sammenstød af hurtige og langsomme atomer, men ved at områder af hurtige molekyler flytter sig i materialet. Dermed blandes de hurtige og langsomme atomer og molekyler, så temperaturforskellene udlignes. Konvektion er således ikke noget, der opstår i faste stoffer, men mere i væsker og i gasser.

Elkedlen – et eksempel på konvektion

I en elkedel varmes vandet omkring varmelegemet op. Når vandet bliver varmere, sænkes dets massefylde. Det får det varme vand til at stige op gennem det køligere vand og de to dele blandes. Når vi blander de hurtige og de langsomme molekyler i vandet, ender deres gennemsnitshastighed et sted mellem de to oprindelige gennemsnitshastigheder, hvilket giver en temperatur, der er højere end det kølige vand, men lavere end det varme. Som processen gentages vil alt vandet i elkedlen blive varmet op.

19.1.3 Stråling

Stråling er noget anderledes end de to foregående typer af varmetransport. Ved de tidligere var det bevægelsen af atomerne og molekylerne rundt mellem hinanden, der var skyld i varmeudvekslingen. Men ved stråling ses på et enkelt molekyle.

Et molekyle består af atomer, der holdes sammen af bindinger. Disse bindinger kan betragtes som elastikker. Dette gør, at afstanden mellem atomerne ikke er helt fast, men den kan variere. Når temperaturen er høj, er hastigheden af atomerne tilsvarende høj. Det gør, at atomerne skiftevis vil bevæge sig lidt væk fra hinanden og lidt mod hinanden. Denne svingning producerer stråling, der undslipper molekylet med en bølgelængde, der svarer til temperaturen af molekylet.



Strålingsvarme i et stykke jern

Et stykke jern begynder at lyse, når man varmer på det. I begyndelsen af opvarmningen gløder jernrøret rødt, og farven bevæger sig nærmere gul, når temperaturen stiger. Til sidst udsender jernet så meget stråling (lys) i alle de synlige farver, at det vil virke hvidglødende.



Figur 31: Strålingsvarme fra et stykke glødende jern.

19.2 Kroppens varmetab til omgivelserne

Når et menneske (et legeme) er dødt vil de to former for varmetransport, der skal tages i betragtning være konvektion og stråling. I tilfældet med konvektion kan man for et voksent menneske, der befinder sig i luft, finde varmetabet pr. tid (Q_{kon}) til at være:

$$Q_{\text{kon}} = K_1 \cdot A \cdot (T - T_o), \quad K_1 = 2,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (41)$$

Her er $(T - T_o)$ forskellen i temperatur mellem kroppen og omgivelserne, og A er kroppens overfladeareal. Konstanten K_1 er et mål for afgivelsen af varme i luft. Jo mere effektivt varme kan transporteres ved konvektion, jo højere er denne konstant. Dette betyder, at en menneskekrop, der ca. har et overfladeareal på 2m^2 , vil have et varmetab på ca.

$$Q_{\text{kon}} = 2,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 2\text{m}^2 \cdot (310\text{K} - 293\text{K}) = 88\text{W} \quad (42)$$

hvilket svarer til energiforbruget af to normale lyspærer. For stråling gælder der en lidt anden sammenhæng. Her er energitabet pr. tid P givet ved:

$$P = K_2 \cdot A \cdot T^4, \quad K_2 = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \quad (43)$$



Igen skal man huske, at temperaturen skal måles i Kelvin, hvilket betyder at kroppens varmetab, som følge af stråling er

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 2\text{m}^2 \cdot (310\text{K})^4 = 1047\text{W} \quad (44)$$

Kroppen udstråler altså over 1000 J pr. sekund, hvilket meget godt svarer til den effekt de fleste mikrobølgeovne kan klare på maksimal effekt! Heldigvis skal vi ikke selv producere al den energi, der udstråles her. Som nævnt tidligere virker stråling begge veje. Det betyder, at omgivelserne også udsender stråling, der optages af kroppen. I et rum med 20°C modtager vi således

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 2\text{m}^2 \cdot (293\text{K})^4 = 836\text{W} \quad (45)$$

hvilket gør, at den totale mængde energi, som vi taber pr. sekund fra stråling og konvektion til sammen bliver omtrent:

$$88\text{W} + 1074\text{W} - 836\text{W} = 326\text{W} \quad (46)$$

Denne effekt skal kroppen konstant levere for ikke at blive afkølet, og det kan udnyttes til at bestemme dødstidspunktet.

19.3 Kølekurve

For at kunne koble energitabet vi bestemte i foregående afsnit med en ændring af temperaturen, er det nødvendigt at vide, hvordan temperaturen af kroppen hænger sammen med den mængde energi, som varmen står for. For at kunne bestemme det, laves et par tilnærmelser (dette er en meget normal tilgang i fysik for at gøre uløselige problemer lettere at løse). Kroppen består primært af vand og kan derfor betragtes som en vandballon, der har en masse på M . Herved kan vi nu skrive energien som følge af varme i kroppen som:

$$E = M \cdot c_s \cdot T \quad (47)$$

Her er c_s den specifikke varmekapacitet, der for vand er $4186 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$. Dette betyder, at et totalt energitab på 326 W vil resultere i en temperaturændring på

$$\frac{326\text{W}}{70\text{kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{K}}{\text{s}} \quad (48)$$

Altså ændres kropstemperaturen en tusindedel kelvin på et sekund for et menneske, der vejer 70 kg. Dette er ikke noget mærkbart, men over en periode på et døgn (86400 s) vil det resultere i en ret stor ændring af kropstemperaturen.



Desværre er det ikke helt så let at udregne temperaturen, som funktion af tiden, i hvert fald ikke over så lange tidsstræk som timer og døgn. Når kropstemperaturen sænkes, følger varmetabet med ned i niveau.

I en situation, hvor en størrelses ændring, f.eks. ændring af temperaturen, er påvirket af størrelsen selv (her er kropstemperaturens ændring påvirket af kropstemperaturen), fås en differentialligning. For at kunne løse den laves endnu en tilnærmelse. Denne gang er det udtrykket for energitabet ved stråling. Samlet set ser regnskabet for energitab ved stråling ud som følger:

$$Q_{\text{str}} = K_2 \cdot A \cdot (T^4 - T_o^4) \quad (49)$$

Her er T kropstemperaturen, mens T_o er omgivelsernes temperatur. For temperaturer, som vi kender det i vores omgivelser (omkring 20°C , svarende til 293K), kan man med god tilnærmelse skrive energitabet som

$$Q_{\text{str}} = 4 \cdot K_2 \cdot A \cdot T_o^3 \cdot (T - T_o) \quad (50)$$

Det giver en forskel på de to udtryk på 8%, hvilket er inden for de usikkerheder, som er acceptable på dette område. Alt i alt kan vi så skrive energitabet for kroppen som:

$$Q = Q_{\text{kon}} + Q_{\text{str}} = K_1 \cdot A \cdot (T - T_o) + 4 \cdot K_2 \cdot A \cdot T_o^3 \cdot (T - T_o) \quad (51)$$

$$= K_3 \cdot A \cdot (T - T_o) \quad (52)$$

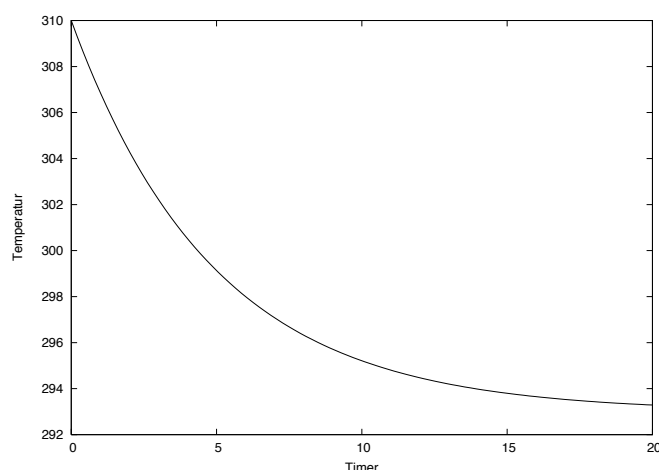
$$K_3 = K_1 + 4K_2 T_o^3 = 8,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (53)$$

Udtrykket fortæller os, hvor meget energi kroppen taber pr. tid. Hvis vi deler det med massen af kroppen M og den specifikke varmekapacitet c_s , kan vi få et udtryk for, hvor meget temperaturen ændrer sig pr. tid.

Løser man den differentialligning, som fremkommer, vil man få, at temperaturen som funktion af tiden kan skrives som

$$T(t) = T_o + (T_k - T_o) \cdot \exp\left(\frac{-K_3 \cdot A}{M \cdot c_s} t\right) \quad (54)$$

hvor T_k er kropstemperaturen ved dødstidspunktet. Tegner man eksponentialfunktionen, får man en kølekurve som i figur 32.



Figur 32: Eksponentiel afkølingskurve mod stuetemperatur ($T = 293\text{K}$.)

Opsummering

- Den varme krop afsætter energi i luften omkring den, og den varme luft flytter sig væk fra kroppen. Derved taber kroppen energi til luften, og kroppen afkøles.
- Fordi kroppen har en temperatur over det absolutte nulpunkt, vil molekylerne i den vibrere. Når molekyler vibrerer udsender de stråling. Strålingen bærer energi væk fra kroppen, som derfor afkøles.
- Ligesom kroppens molekyler vibrerer omgivelsernes molekyler også. De udsender derfor også stråling. Noget af den stråling optages af kroppen, og varmer den.
- Samlet set taber kroppen energi, og da kroppen ikke længere er levende, vil den med tiden blive afkølet.
- Når man tager alle bidragene med i overvejelserne, vil man få kurven på figur 32.

Som eksempel kan vi se, at en voksen mand på 90 kg, der er faldet død om i brusebadet. Han vil ca. have et overfladeareal på 2 m^2 , og ligge i et rum, der er $T_k = 25^\circ\text{C}$. Hvis han bliver fundet efter tre timer, kan vi beregne temperaturen af hans hud.

Hvis hans hud var $T_o = 37^\circ\text{C}$, da han døde, har vi $T_k - T_o = -12^\circ\text{C}$. Med et overfladeareal på 2 m^2 og en masse på 90 kg, fås

$$-\frac{K_3 \cdot A}{M \cdot c_s} = -\frac{8,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 2 \text{ m}^2}{90 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = -4,4 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \quad (55)$$



Indsættes det nu sammen med 10800 s (tre timer i sekunder), fås:

$$T = 37^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C} \cdot \exp(-4,4 \cdot 10^{-5}\text{s}^{-1} \cdot 10800\text{s}) \quad (56)$$

$$= 37^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C} \cdot \exp(-0,46) \quad (57)$$

$$= 37^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C} \cdot 0,62 \quad (58)$$

$$= 30^{\circ}\text{C} \quad (59)$$

Manden har altså i teorien en kropstemperatur på 30°C da han findes død 3 timer efter døden indtraf. Man kan ved hjælp af logaritmer udtrykke tiden som funktion af den målte temperatur, men det er ikke relevant her. Man måler aldrig overfladetemperaturen af et lig, når man skal bestemme dødstidspunktet. Næste afsnit tager højde for dette.

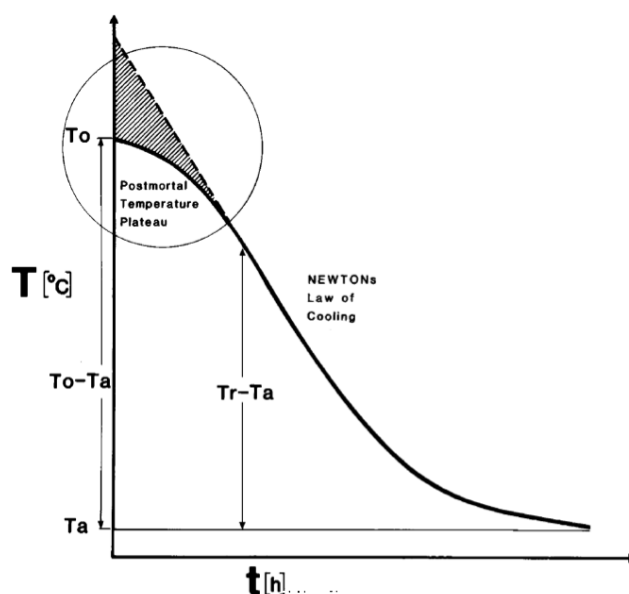
19.4 Varmetransport i kroppen

Indtil nu har vi set på, hvordan overfladen af kroppen taber energi til omgivelserne, men når vi måler temperaturen af kroppen, så sker det ca. fem cm inde i kroppen. Vi er derfor nødt til at have det med i vores overvejelser.

Da vi her har med kroppen at gøre, er der primært tale om konduktion. Teorien bag konduktion er dog lidt for omfattende til, at vi kan give os i kast med den her, men vi kan sagtens få en forståelse for, hvad det vil gøre for vores kølekurve.

Siden konduktion er en effekt, hvor bevægelserne af atomer og molekyler afsættes i hinanden, vil det tage noget tid før en ændring et sted, er blevet opdaget længere væk. Idet en ændring af temperaturen et sted (ved overfladen) kun kan påvirke området lige under, vil det tage noget tid før ændringen opdages fem cm under overfladen, hvor vi måler vores temperatur.

Denne forsinkelse gør at vores kølekurve i figur 32, som gælder for overfladen, vil blive skubbet længere mod højre (længere tid efter dødstidspunktet). Faktisk vil der endda gå et lille stykke tid inden det kan mærkes fem cm inde i kroppen, at overfladen er begyndt at afkøles. Derfor vil vi få et flat stykke i starten af kølekurven, som det er vist på figur 33.



Figur 33: Kernetemperaturen falder først et stykke tid efter dødstidspunktet.

19.5 Betydningen af tøj, vand og andre forstyrrelser

Hvis liget har været pakket ind i tykt tøj eller har befundet sig i vand, kan vi ikke bruge den udledning, som vi så tidligere. Her antog vi, at det var en nøgen person, der befandt sig i luft. Det er dog relativt let at rette op på, hvis tingene ikke lige passer med vores antagelser.

Ser vi på effekten af tykt tøj, så er det til for at holde os varme. Det sker ved at tøjet isolerer, altså at vi taber mindre varme. Vi kan inkludere denne effekt ved at gange en faktor, der er mindre end 1, på energitabet. Omvendt er vand en meget bedre varmeleder end luft er. Faktisk forsvinder varmen 20 gange hurtigere fra kroppen, når man er i vand, end når man er i luft. Det vil derfor resultere i, at vi skal gange varmetabet med en faktor, der er større end 1.

Når man bruger Henss'ges nomogram til at aflæse dødstidspunktet med (se fousboks om Henss'ges nomogram på side 23), vælger man i praksis at regne med en effektiv kropsvægt af den afdøde. Siden kropsvægten står i nævneren i eksponenten i ligning 54, betyder det at man ved isolerende lag ganger vægten med en faktor, der er større end 1, mens vand giver en faktor, der er lavere end 1.

Som eksempel kan vi se på en 70 kg person. Findes sådan én nøgen i en å, hvor vandet strømmer forbi, regner man med en effektiv vægt på kun 24,5 kg. Hvis den samme person havde ligget under sin dyne, regner man derimod med en effektiv vægt på 126 kg.



20 Formelsamling til fysik

Denne formelsamling er opbygget i relation til trafikfysik og rummer de formler, som er nødvendige at have kendskab til i forbindelse med emnet.

20.1 Fysiske størrelser

Symbol	Størrelse	Enhed
Δs	ændring i strækning	m
Δt	ændring i tiden	s
a	acceleration	m / s ²
v	hastighed	m / s
F	kraft	kg m / s ²
m	mass	kg
μ	gnidningskoefficienten	(enhedsløs)
A	arbejde	J = kg m ² / s ²
p	impuls	kg m / s

20.2 Kinematik

Definition af afstand

$$\Delta s = s_2 - s_1 \quad (60)$$

Definition af tidsrum

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (61)$$

Definition af gennemsnitlig hastighed

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (62)$$

Definition af hastighedsændring

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad (63)$$

Definition af gennemsnitlig acceleration

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (64)$$

Bevægelsesligninger

$$\Delta s = v_1 \Delta t + \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 \quad (65)$$

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \Delta s} \quad (66)$$



20.3 Dynamik

Newtons første lov

$$\text{hvis } F_{total} = 0 \text{ så } a = 0 \quad (67)$$

Newtons anden lov

$$F = ma \quad (68)$$

Newtons tredje lov

$$F_{AB} = -F_{BA} \quad (69)$$

Gnidningskræfter

$$F_{gnid} = \mu F_N \quad (70)$$

Arbejde

$$W = F \Delta s \cos \phi \quad (71)$$

Kinetisk energi

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (72)$$

Potentiel energi

$$U = mgh \quad (73)$$

Bevægelsesmængde

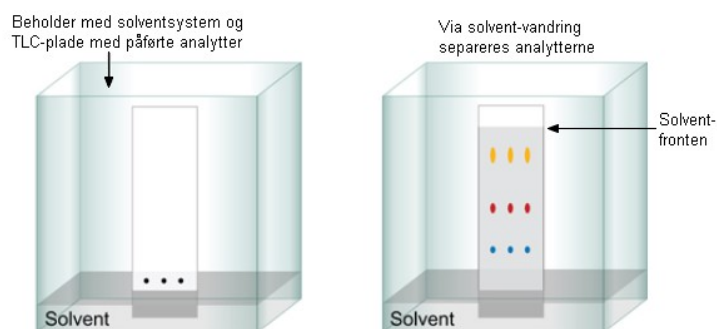
$$p = mv \quad (74)$$

21 Kromatografi

I dette kapitel vil vi se nærmere på to af de kromatografiformer, I vil komme til at arbejde med: TLC og GC.

21.1 TLC

TLC er en forkortelse for Thin Layer Chromatography, som oversat til dansk hedder tyndlagskromatografi. TLC er en analytisk kromatografitype. Den stationære fase, ofte silica, er påført i et tyndt lag på en aluminiumsplade, mens den mobile fase – solventsystemet – er én eller flere blandbare væsker placeret i en beholder med filterpapir og låg, således at luften deri er mættet med solventet (se figur 34).



Figur 34: Illustration af analytisk TLC.

Analytterne placeres typisk med et tyndt kapilærrør på en vandret linie ca. 1.5 cm fra bunden af TLC-pladen, som er skåret i en passende størrelse. TLC-pladen anbringes i beholderen med det valgte solventsystem. Solventet vil derpå vandre op gennem den stationære fase på TLC-pladen og på vejen vil det trække analytterne med op ad den stationære fase. Når solventet næsten har vandret til toppen af TLC-pladen tages pladen op af solventsystemet og solvent-fronten markeres så denne kan aflæses efter pladen er tørret. Adskillelsen sker, fordi analytterne har forskellig polaritet og dermed forskellig tilbøjelighed til at sidde fast på den stationære fase. Adskillelsen måles her i form af retentionsfaktoren, forkortet R_f , som et mål for hvor langt analytten har vandret op af TLC-pladen i forhold til solventfronten.



Opgave 8: Du kan selv efterprøve princippet i kromatografi derhjemme. Tag et kaffefilter og klip en retangel ud af det (ca. 3x8 cm) sæt på den smalle led en plet med en stort tusch. Sæt kaffefilteret omkring en blyant og hæng det i et glas indeholdende vand (vandet må ikke dække dine tusch-plet). Vent og se hvorledes de forskellige komponenter i din sorte tusch.

Visualiseringen af analytterne afhænger af, hvilke analytter, der er på pladen. Farvede stoffer kan naturligvis identificeres med det blotte øje, men mange stoffer er ikke farvede og så må andre metoder tages i brug. UV-aktive stoffer kan ses under en UV-lampe og endelig er der en lang række forskellige fremkaldervæsker, som kan farve forskellige stoftyper.

TLC anvendes til flere forskellige analytiske formål, f.eks.:

- Vurdere om, og i hvilken grad, en reaktion har forløbet
- Indikation af hvilket stof man har påført ved at påføre en standard (det rene stof) ved siden af
- Bestemmelse af renheden og sammensætningen af en given blanding

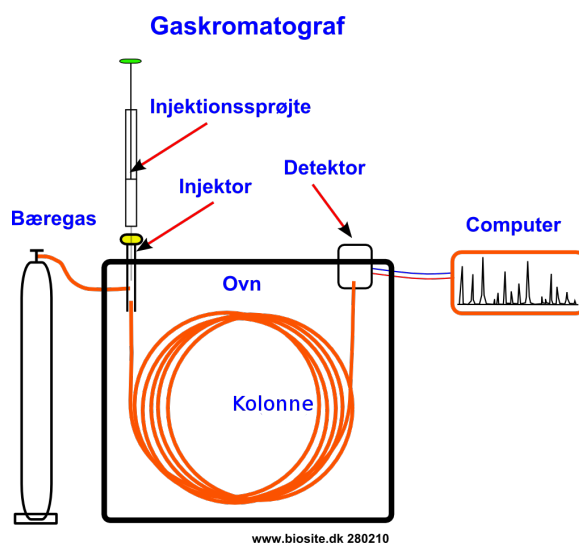
21.2 Gas kromatografi

Gas kromatografi forkortes ofte GC (engelsk: Gas Chromatography) og er en meget følsom type kromatografi, som kan bruges til at separere analytterne på baggrund af deres forskellige kogepunkter og affinitet til den stationære fase, dvs. polaritet. Analytterne, som analyseres, skal kunne fordampes uden at nedbrydes ved eller under 300°C og må ikke være for polære, som f.eks. ioner er³.

I GC er den mobile fase en gas, den såkaldte bæregas, mens den stationære fase er en ikke-flygtig olie eller et fast stof placeret på indersiden af et langt, tyndt rør, som kaldes en kolonne.

Instrumentet, som udfører separationen kaldes en gaskromatograf (se figur 35). Med injektionssprøjten sprøjtes blandingen ind i injektionssporten, hvor analytterne fordampes til gasform inden de kommer ind i systemet. Bæregassen leder analytterne ind i kolonnen, hvor de adskilles på basis af affiniteten til søjlen. Affiniteten er afhængig af temperaturen, der kan justeres. For enden af søjlen kommer analytterne til en form for detektor, der registrerer analytterne og sender et elektrisk signal videre til en forstærker.

³Referencer: Leonard, J. Advanced practical organic chemistry; second edition; Taylor & Francis Group: 1998. Wikipedia



Figur 35: Den generelle opbygning af en gaskromatograf.

Til sidst vises signalerne i form af toppe (peaks) i et kromatogram på computeren. Der er flere parametre, som har afgørende betydning for resultatet og hvor lang tid processen tager og som derfor bør overvejes. Nogle af de vigtigste er som følger:

Kolonnen, som indeholder den stationære fase findes generelt i to typer:

- Pakkede kolonner, indre diameter: 2-4 mm, længde: 1,5-10 m
- Kapillarkolonner, indre diameter: 0,2-0,5 mm, længde: 25-30 m

De tyndere og længere kapillarkolonner giver bedre adskillelse og er derfor dem, der oftest bruges. Den stationære fase er her typisk en type polymer.

Temperaturen i ovnen. Generelt gælder det, at en høj temperatur bevirker at analytterne kommer hurtigere ud af søjlen, men til gengæld er adskillelsen ikke helt så god. Temperaturen kan enten holdes konstant, eller kan øges jævnt eller i intervaller.

Bæregassen og dens flow-rate. Bæregassen er oftest helium, nitrogen, hydrogen eller luft. Som ved temperaturen giver en højere flowrate en hurtigere analyse, men til gengæld en dårligere adskillelse.

Detektoren Gaskromatografen er tilsluttet en eller flere detektorer, der kan måle forskellige egenskaber ved analytterne, eksempelvis varmeledningsevne, brændbarhed eller molekylmasse. Der er nogen forskel på hvor følsomme de forskellige typer detektorer er overfor forskellige typer af analytter.

GC kan anvendes analytisk til at bestemme, hvor ren ens blanding er, da



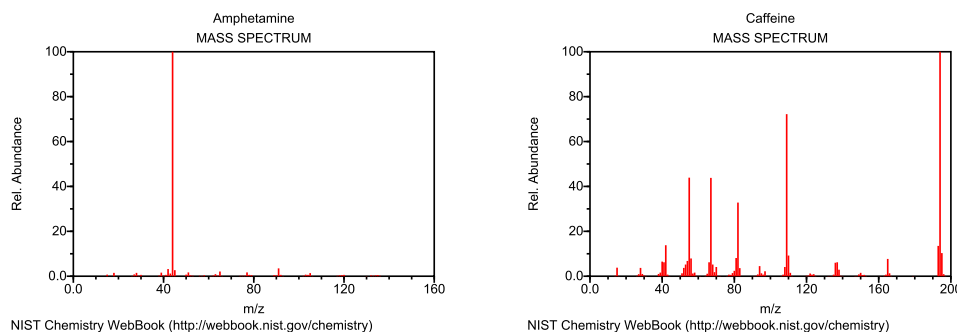
arealet under hvert signal er proportional med mængden af den analyt, som gav anledning til netop dette signal. Hvis alle parametrene er kendte kan gaskromatografi anvendes til identifikation af analytter ved at køre en standard ved samme indstillinger på gaskromatografen. Dette anvendes eksempelvis til identifikation og kvantifikation af forskellige misbrugsstoffer i de blandinger, der beslaglægges af politiet.

22 Massespektroskopi

I massespektroskopi (MS) ser man på molekulmassen af et molekyle, og massen af de dele molekylet deles i, når man bombarderer det med elektroner.

Et stof, der skal undersøges ved hjælp af MS, kan være en gas, en væske eller et fast stof. MS er en ekstremt følsom analyseteknik, og det er derfor kun nødvendigt at have ganske lidt stof for at få et spektrum. Man kan godt lave massespektrometri som en enkeltstående undersøgelse, men langt mere normalt er det, at apparatet er koblet til en separationsmetode som f.eks. gaschromatografi. Så virker massespektrometeret blot som en avanceret detektor, der modtager gasstrømmen fra kolonnen og måler på den. Derfor skal man blot indsprøjte sin prøve i GC'en, og så sker prøveoverførsel helt automatisk, og computeren, der styrer systemet holder selv styr på at opsamle og korrelere data.

Eksempler på massespektre kan ses i figur 36. Det ses tydeligt, at der er stor forskel på massespektrene, selvom der er tale om to små molekyler, der begge virker opkvikkende. Dette skyldes, at de kemisk set er ret forskellige (se faktaboks på side 65). Meget små molekyler med næsten ens kemisk struktur kan være problematiske at identificere med MS, men disse problemer kan heldigvis omgås ad enten analytisk eller kemisk vej.



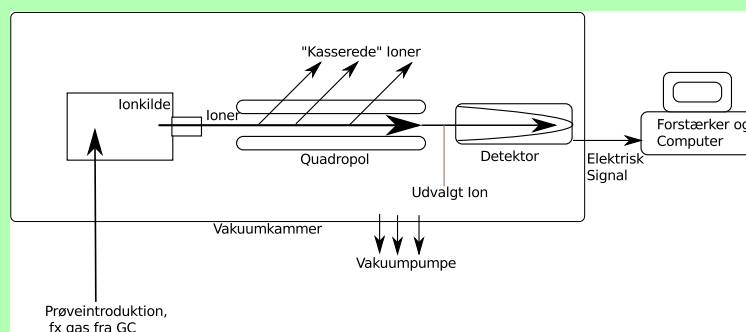
Figur 36: Massespektre for henholdsvis amfetamin og koffein.

Når man har fået sit massespektrum, skulle man tidligere manuelt sidde og udlede hvad de enkelte toppe svarede til, og hvordan et molekyle kunne være gået i stykker – men i dag er vi mere privilegerede – man kan købe færdige biblioteker med hundretusindvis af kendte massespektre og blot sætte computeren til at gennemsøge biblioteket efter et spektrum, som ligner det man har. Det tager typisk et par sekunder pr stof, og i tilgift kan man få en sammenligning med referencespekteret skrevet ud automatisk. Et eksempel på et gaskromatogram med tilhørende massepektrometrisk rapport kan ses i figur 38



En prøves vej igennem et MS-apparat

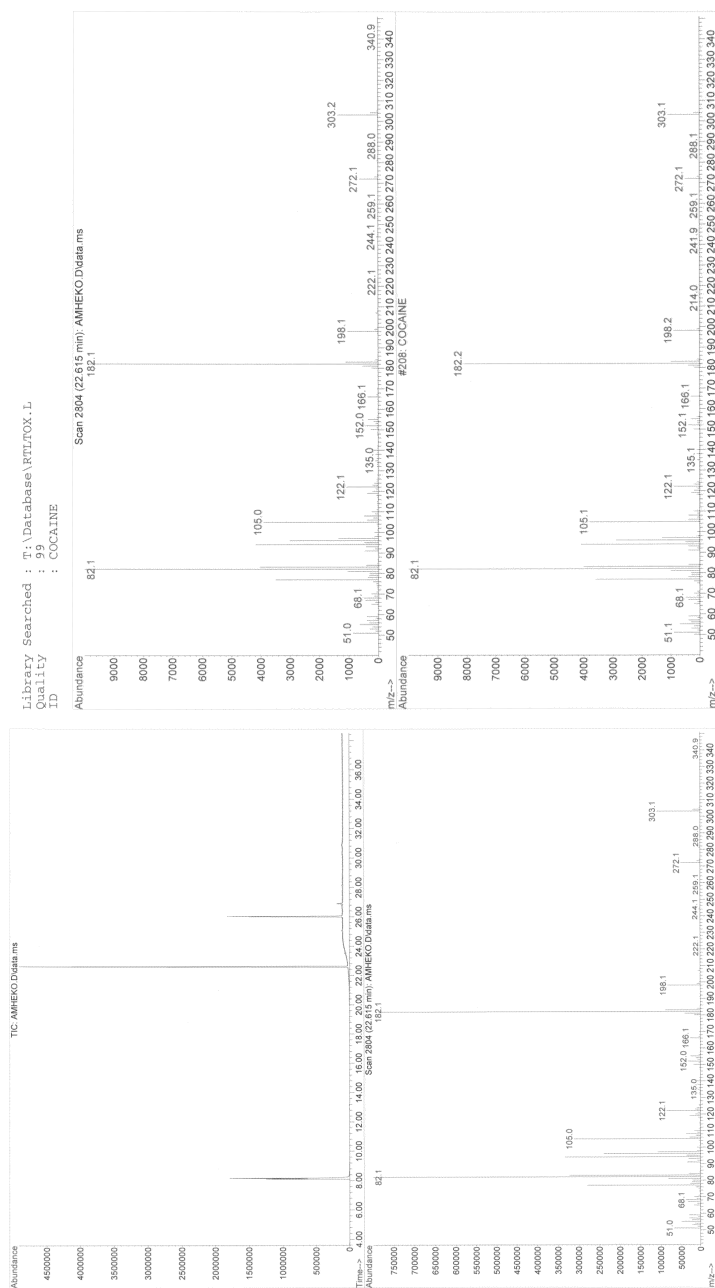
Først har vi ionkilden, hvor en strøm af elektroner slår molekylerne i stykker og gør stumperne elektrisk ladede. Da de nu er elektrisk ladet kan man manipulere dem med elektriske og magnetiske felter, og man accelererer dem nu med et elektrisk felt, så de flyver ind gennem quadropolen.



Figur 37: Skitse af tværsnit gennem et massespektrometer.

Quadropolen består af 4 cirkulære stænger (deraf navnet), der er monteret i en rhombe og koblet til en signalgenerator. Ved at sende den rigtige kombination af jævn- og vekselspænding gennem stængerne kan man afbøje de elektrisk ladede stykker af molekyler på en sådan måde, at kun dem, der har én bestemt vægt, kan komme igennem – de øvrige vil have en rute der bliver ustabil på vej gennem quadropolen og flyve ud af den og ramme væggen af instrumentet. Ved hurtigt at skifte mellem hvilke masser, der kan komme igennem (flere tusinde gange i sekundet), kan man altså nå at udvælge alle de enkelte stykker som molekylet er slået i og detektere dem enkeltvis.

Detektoren består typisk af en "iontæller" – et apparat, der først accelererer de modtagne stumper yderligere op i hastighed, og derpå lader dem ramme en væg af et materiale, der bliver kraftigt elektrisk ladet, når det bliver ramt af de hurtigtflyvende ioner. Ved at måle størrelsen af ladingen kan man så se hvor mange ionstykker, der har ramt detektoren. Ved lynhurtigt at kombinere al denne information kan man altså tegne massespektret op for det analyserede stof.



Figur 38: Eksempel på rapport fra gaskromatografi med massespektroskopi. Der er analyseret en blanding af misbrugsstoffer. Til venstre ses hele kromatogrammet øverst og massespektret for den midterste top nedenunder. Til højre ses resultatet af bibliotekssøgningen, hvor massespektret er identificeret som værende kokain.

Mine noter



23 Introduktion til Del VI

I denne del af kompendiet finder du en række vejledninger, skal kan bruges i forbindelse med laboratoriearbejdet.

24 Findestedsundersøgelse

Når politi, kriminalteknikere og retsmedicinere sammen undersøger et gerningssted kaldes det en findestedsundersøgelse. En findestedsundersøgelse illustrerer godt, hvordan de enkelte dele i en politiefterforskning skal bringes til at gå op i en højere enhed ved hjælp af et eneste redskab: *Samarbejde*.

Hvis man som udenforstående ankommer til et gerningssted kan det umiddelbart se meget kaotisk ud — en hel masse mennesker iklædt beskyttelsesudstyr myldrer rundt mellem hinanden eller er dybt koncentreret om hver deres lille del af gerningsstedet. I virkeligheden foregår det hele efter nøje aftalte regler og rutiner; alle ved hvem der er hvor, og hvad de laver, så man kan undgå at spor ødelægges eller forurenes inden de er belvet dokumenteret, indsamlet eller på anden måde behandlet.



Figur 39: *Findestedsundersøgelse.*

I denne øvelse skal I prøve at være politi, kriminalteknikere og retsmedicinere, og få dette vigtige og komplekse samarbejde til at fungere. I ankommer til et sted, hvor en person er blevet slået ihjel. Der er et lig og mere



end et muligt gerningsvåben tilstede i lokalet. Lokalet bærer præg af at flere personer har holdt en mindre sammenkomst. Opgaven er nu at rummet og liget skal dokumenteres og sporsikres. Inden findestedsundersøgelsen påbegyndes er det vigtigt at danne sig et overblik over stedet, og lægge en plan inden det egentlige arbejde går i gang.

Chain of Custody Udtryk lånt fra USA, som dækker over det forhold at et hvert indsamlet bevis, til en hver tid kan placeres i den helt korrekte kontekst, på det korrekte gerningssted uden mulighed for fejl, forbytning eller bevidst påvirkning. Man skal med andre ord i retten 2 år senere kunne sværge at: "Dette cigaretskod, i denne lille pose, lå i den sydlige ende af askebægret (nr 3) ved gerningsstedsundersøgelsen dd/mm/åå på adressen ... "uden at være det mindste i tvivl.

24.1 Opgaver på findestedet

Man skal samarbejde i 5 grupper, der hver især beskæftiger sig med følgende områder:

1: Fingeraftryk: Der skal sikres fingeraftryk fra interessante steder og genstande. Dette kunne eksempelvis være glas eller flasker, mulige våben eller overflader (vægge, borde etc.). Det er vigtigt at huske ordentlig markering af sted, dato, og andre relevante informationer for aftrykket, fx: Ølkrus, spisebord (nordlig ende), d. dd/mm/åå.

2: Dna-sporsikring: Foretages ved aftørring med vatpinde fra relevante steder, samt sikre genstande med mulige DNA-spor, så som cigaretskod, tykkegummi, glas og kopper. Poser skal mærkes med tid, sted, dato og anden relevant information.

3: Opmåling: Der skal foretages opmåling og skitsetegning af rum. Hvad er afstanden mellem borde og væg? Hvor og hvordan er lig, gerningsvåben, fodspor og andre genstande placeret?. Det skal være muligt at genskabe gerningsstedet ud fra tegninger og foto!

4: Liget: Ligets placering, stilling og læsioner skal dokumenteres ved opmåling og beskrivelse. Temperaturen kan måske sige noget om dædstidspunktet. Hvilken karakter har læsionerne? Er det fx skud- eller stiksår? Er de potentielt dødelige?

5: Fotodokumentation: Skal foretages i samarbejde med alle de andre grupper. Intet må puttes i poser, eller på anden måde manipuleres, før fotografering. Små sedler markerer, hvad og hvor. Hele rummet skal også dokumenteres, så der skal tages oversigtsbilleder hele vejen rundt.



Husk at ingen opgave som udgangspunkt er mere eller mindre vigtig end de andre. Hvis man er nødt til at foretage flere undersøgelser på samme sted eller samme genstand, så sørg for at dokumentere så meget som muligt både før, under og efter alle undersøgelserne. Der kan opstå situationer hvor én undersøgelse udelukker en anden efterfølgende. Aftørres en overflade eksempelvis for DNA-spor kan man ikke efterfølgende tage fingeraftryk, hvorimod den omvendte rækkefølge kan lade sig gøre med forsigtighed.

Når alt er dokumenteret og alle sporene er indsamlet kan det detaljerede analytiske arbejde begynde: Retsmedicinerne tager liget med til obduktion, teknikerne undersøger fingeraftryk og fysiske spor, genetikere undersøger DNA, kemikere undersøger eventuelle narkotika eller medicinrester fundet på stedet — men allerede nu vil det ofte være muligt at lave en skitse af en hændelsesforløb, eller måske blot udelukke ét af mange mulige scenarier. En ting er dog sikkert: Uden grundige undersøgelser og samarbejde mellem alle implicerede grupper bliver forbrydelsen aldrig opklaret!

DNA Deoxyribo-Nucleic-Acid. Alle plante- og dyreceller indeholder dna af overraskende ens udseende. Store dele af DNA er identisk i alle pattedyr, fx stofskiftezymer, hvor man ikke på DNA-niveau kan se forskel på dig og en måge! I pattedyrs DNA findes lange sekvenser af små stykker kode der gentages mange gange og som ikke koder for noget, såkaldte short-tandem-repeats (STR). Disse områder er meget individuelle og kan på baggrund af massive statistiske beregninger bruges til identifikation af enkeltindivider — forudsat man har noget at sammenligne med. Din DNA-profil siger nemlig intet om dig som person, kun at en samling celler med en sikkerhed på 1 til 1 million stammer fra dig. DNA teknikkerne bliver mere og mere følsomme og man kan lave en fuld profil på nedtil ca 12 celler — hvilket er meget, meget lidt. Derfor skal man være meget opmærksom på risikoen for forurening, fra fx politi og andre på et gerningssted.



25 Sikkerhed i det kemiske laboratorium

Generelt

- Ved øvelserne udleveres små prøver af faste stoffer eller opløsninger. Undgå at få stofferne, opløsninger af disse eller reagenser på hud eller i øjne. Hvis der kommer kemikalier på hud eller i øjne skylles straks med vand og en underviser tilkaldes.
- Sørg for at læse og forstå arbejdsforskriften, før du begynder på det eksperimentelle arbejde.
- Opvarm altid på vandbad, aldrig over åben flamme. Opvarm aldrig et lukket system!
- Spildte kemikalier eller vand på arbejdsplads, gulv, vægte og andet apparatur skal straks fjernes.
- Hæld aldrig kemikalier tilbage i deres stamflasker.
- Hold arbejdspladsen så ryddelig som muligt! Fjern udstyr og apparatur, der ikke bruges.
- Det er **STRENGT** forbudt at ryge, drikke, spise eller på anden måde indtage noget i laboratoriet!

Påklædning

- Alle i laboratoriet skal bære kittel. Kitlen skal tages af, når laboratoriet forlades.
- Der skal bæres briller i laboratoriet, enten egne briller eller udleverede beskyttelsesbriller.
- Pas på med at bære handsker i for lang tid af gangen. Skift handsker efter 10 min. brug. Husk også at skifte handsker, hvis du spilder på dem.

Affald

- Handsker, papir og andet, der har været brugt i forbindelse med eksperimentet, skal i en affaldspose i stinkskaab.
- Glasaffald skal i glasaffaldsspanen.
- Alle kemikalierester fra eksperimentet skal i en "affaldsdunk" i stinkskaab.

**Oprydning**

- Glasudstyr rengøres først med ethanol i stinkskab, og først derefter rengøres det i vasken med vand og sæbe. Afslut rengøringen med at skylle med ethanol og sætte udstyret til tørre i de opstillede tørrestativer.
- Husk at rydde op efter dig ved vejepladsen og ved vaskene.

Tasker og overtøj

- Placeres på de anviste steder.



26 Øvelsesvejledning: Nyrenes funktion

Formålet med øvelsen er at undersøge nyrenes evne til at regulere kroppens indhold af vand og forskellige stoffer uafhængigt af hinanden.

26.1 Teori

De vigtigste organer for udskillelsen af giftstoffer, lægemidler og kroppens egne affaldsprodukter er leveren og nyrerne. Nyrrerne filtrerer blodet og efter en kompliceret proces med genoptagelse af de stoffer, som kroppen gerne vil holde på samt ekstra udskillelse af de stoffer, som kroppen vil af med, dannes der urin. Urinen er en blanding af overskydende vand og affaldsstoffer. For at kroppen kan opretholde nøjagtig de rigtige koncentrationer af alle vigtige molekyler og af vand, er det nødvendig med en præcis regulering af genoptagelse/udskillelse af de enkelte molekyler. Her vil vi med kloridionen som eksempel undersøge, hvordan udskillelse af dette stof reguleres uafhængigt af udskillelsen af vand. Volumen af urinen er hovedsagelig bestemt af dets vandindhold. Hastigheden hvormed urinen dannes kaldes for diurese ($\dot{V}$) og findes ved at dele urinvolumenet, V_{urin} med den tid det har taget at danne det. Udskillelshastigheden, v_{ud}^{stof} er den hastighed, hvormed et stof (fx klorid) udskilles via urinen. Den kan beregnes ved at gange koncentrationen af stoffet i urinen (benævnt U_{stof}) med diuresen, $\dot{V}$. For klorid fås altså: $v_{ud}^{klorid} = U_{klorid} \cdot \dot{V}$

De normale enheder for ovenstående er følgende:

Betegnelse	Enhed
Urinvolumen, V_{urin} :	mL
Tid, t	min.
Diurese, $\dot{V}$	$\frac{mL}{min}$
Stofkoncentration i urin, U_{stof}	Afhænger af stoffet. For klorid vil molær være at foretrække.
Udskillelshastigheden, v_{ud}^{stof}	Afhænger af koncentrationsmålet. Hvis koncentrationer måles i molær fås enheden $\frac{mmol}{min}$.

Tabel 4: Enhedsliste

I øvrigt henvises til teorien i nyrefysiologiafsnittet.



26.2 Praktisk udførelse

Til øvelsen bruges 1-3 frivillige forsøgspersoner og 1-3 kontrolpersoner. Forsøgspersonerne skal forberede sig på forsøget ved at indtage maximalt 250mL væske denne dag og være fastende. Det er især vigtigt at man ikke lige har spist et større måltid inden forsøgets start, da madrester i maven vil forsinke optagelse af vandet. Det er desuden vigtigt at hverken forsøgspersoner eller kontrolpersonerne har indtaget kaffe eller andre koffeinholdige drikke, da disse kan påvirke diuresen. Selve forsøgsperioden er ca. halvdelen time hvorefter I skal analysere prøverne.

T = 0 min Forsøgspersonerne og kontrolpersonerne tømmer blæren.

T = 5 min Forsøgspersonerne drikker hver 1 L rent vand så hurtigt som muligt. Kontrolpersonerne må ikke indtage væske i løbet af forsøget.

T = 30 min Forsøgspersonerne og kontrolpersonerne tømmer blæren og opsamler urinen. Urinvolumen måles og koncentrationen af klorid bestemmes.

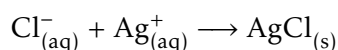
T = 60 min Forsøgspersonerne og kontrolpersonerne tømmer blæren og opsamler urinen. Urinvolumen måles og koncentrationen af klorid bestemmes.

T = 90 min Forsøgspersonerne og kontrolpersonerne tømmer blæren og opsamler urinen. Urinvolumen måles og koncentrationen af klorid bestemmes.

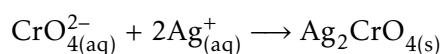
Urinvolumen måles i et måleglas. Herefter bestemmes indholdet af klorid.

26.2.1 Bestemmelse af klorid i urin

Klorid kan bestemmes ved titrering med sølvnitratopløsning, AgNO_3 . Som indikator bruges kaliumchromat, K_2CrO_4 . Klorid vil danne uopløseligt, hvidt sølvchlorid, når der tilsættes sølvnitrat, AgNO_3 :



Så snart al klorid er udfældet, vil tilsætning af mere sølvnitrat give et rødt, tungtopløseligt bundfald af sølvchromat, Ag_2CrO_4 :





En svag rødbrun, blivende farvetone viser, at al klorid er udfældet (ækvivalenspunktet). Sølvklorid er mere tungtopløseligt end sølvchromat. Derfor vil sølvionerne først reagere med kloridionerne i prøven.

Materialer

Pipette, burette, magnetomrører med magnet (kan undværes), 250 mL konisk kolbe 1,00 mol/L AgNO_3 (sølvnitrat), 0,1 mol/L K_2CrO_4 (kaliumchromat), 3mL urinprøve.

Fremgangsmåde

For hver urinprøve udføres følgende

1. Afmål 3 mL urin med fuld pipetten og overfør det til en konisk kolbe.
2. Tilsæt ca. 1 mL (20 dråber) kaliumchromat-opløsning, samt en magnet og anbring kolben på en magnetomrører.
3. En burette fyldes med 1,00 mol/L sølvnitrat-opløsning. Eventuelle luftbobler i spidsen fjernes.
4. Der tildryppes sølvnitrat-opløsning til kolben med vandprøven indtil en enkelt dråbe giver en blivende rødlig farve. Aflæs det forbrugte rumfang på buretten.
5. Titreringen gentages med en ny urinprøve (men fra samme "urinportion") og gennemsnittet af de to rumfang beregnes.

Beregninger

Kloridindholdet (mol chlorid pr. Liter) i prøven beregnes efter formlen:

$$\text{mol klorid/L urin} = \frac{\text{forbrug af } \text{AgNO}_3 \text{ i mL} \cdot C(\text{AgNO}_3)}{V(\text{urinprøve})}$$

Beregn udskilles hastigheden og diuresen. Plot diuresen som funktion af tiden.



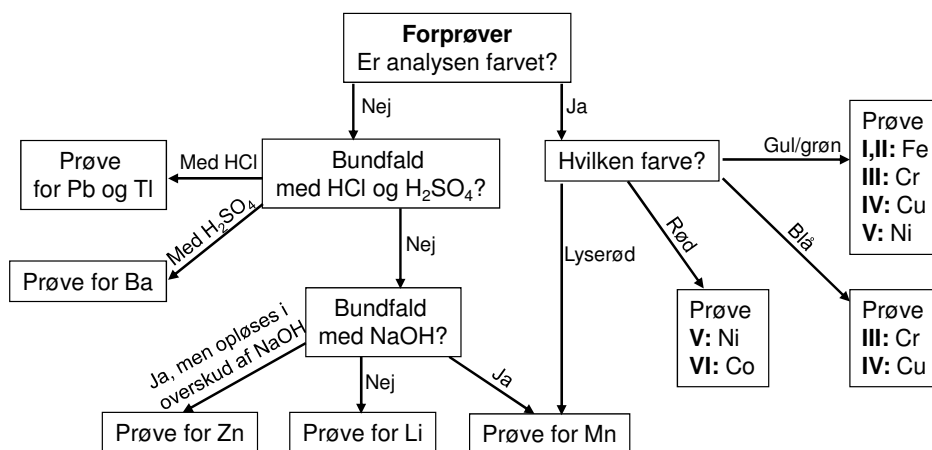
27 Uorganisk identifikation

Ved uorganisk stofidentifikation benytter man sig af stoffers opløselighed, syre- og base egenskaber, redoxegenskaber og deres evne til at danne komplekse forbindelser. Formålet med disse øvelser er at identificere indholdet af uorganisk stof i en prøve.

Generelt kan arbejdet inddeles i 3 trin:

1. Forprøver (udseende, opløselighed, farve, mm.)
2. Bestemmelse af kation
3. Bestemmelse af anion

I vil primært komme til at arbejde med de første to trin. Arbejdsgangen i den uorganiske stofidentifikation kan groft skitseres som i figur 40



Figur 40: Flowskema for identifikation af kation



27.1 Praktiske detaljer og ordforklaring

I den øvelsesvejledning og i laboratoriet vil I møde forskellige kemiske forkortelser og opløsninger. I tabel 5 ses en oversigt over disse.

Forkortelse	Navn	Opløsning	Navn
Ba	barium	HCl	saltsyre
Co	cobalt	HNO ₃	salpetersyre
Cr	krom	H ₂ SO ₄	svovlsyre
Cu	kobber	NaOH	natriumhydroxid
Fe	jern	konc. NaOH	natronlud
K	kalium		
Li	lithium		
Mn	mangan		
Ni	nikkel		
Pb	bly		
Tl	thallium		
Zn	zink		

Tabel 5: Navne på metaller og benyttede opløsninger som indgår i forsøgene.

I øvelsesvejledningen vil I møde en række begreber, som er forklaret i nedenstående:

- **Prøven:** Det faste stof eller den opløsning, der skal analyseres. En opløsning af prøven kaldes i vejledningen nedenunder for analysen.
- **Bundfald:** Udfældning af et stof fra en opløsning. Det udfældede kan have en særlig farve eller kan gøre opløsningen mælket uden at falde til bunden.
- **Reaktionerne** udføres, når ikke andet er anført, i reagensglas, der rummer 3 ml. Væsker tilsættes ved at dryppe direkte ned i reagensglassene.
- 50 mg fast stof svarer til et tændstikshoved. Det er ikke meningen, at mængden skal afvejes, men udtages efter skøn.
- Pipetterne vi anvender er normalt plastikpipetter (1 eller 3 mL) med mindre andet er anført.



27.2 Arbejdsgangen i uorganisk stofidentifikation

27.2.1 Forprøver

Udseende

1. Beskriv udseendet af prøven. (Farve, form, osv.)

Hvis prøven er i vandig opløsning

- Er analyseopløsningen farveløs gå til afsnit 27.2.2. **Farveløs analyse.**
- Er analyseopløsningen farvet gå til afsnit 27.2.3. **Farvet analyse.**

Hvis prøven er et fast stof: Test for opløselighed i vand

1. Er prøven et fast stof undersøges dens opløselighed i vand og noteres: 2-3 mg stof tilsættes 2-3 dråber vand. Er prøven: (a) Letopløselig, (b) noget opløselig eller (c) ikke opløselig i vand?

Prøve id.	Letopløselig	Noget opløselig	Ikke opløselig

Dette kan afgøres ved se, om stof "forsvinder", eller om der ligger noget i bunden af glasset, om opløsningen farves, og evt. ved at tilsætte lidt flere dråber vand for at se, om det hjælper på opløseligheden.

Hvis prøven er opløselig i vand fremstilles en analyseopløsning (fremover kaldes denne for analysen) således: Udtag ca. 50 mg prøve og tilsæt 20 dråber vand.

2. Hvis prøven ikke er opløselig i vand bruges i stedet 20 dråber 4 M salpetersyre.
 - Hvis analyseopløsningen er farveløs gå til afsnit 27.2.2. **Farveløs analyse.**
 - Hvis analyseopløsningen er farvet gå til afsnit 27.2.3. **Farvet analyse.**



27.2.2 Farveløs analyse

Bundfald med HCl og H₂SO₄

Kom 4 dråber analyse i et reagensglas. Tildryp 4 M salpetersyre til sur reaktion (undersøg med indikatorpapir, pH skal være ca. 1).

Udtag 2 dråber af denne opløsning og kom dem i et nyt reagensglas. Tilsæt 2 dråber 4 M saltsyre. Bundfald kan skyldes bly (Pb) eller thallium (Tl). Ses bundfald, forsættes under **Prøve for Pb og Tl**. Hvis ikke forsæt nedenunder.

Kom 4 dråber analyse i et reagensglas. Tildryp 2 M svovlsyre. Ses et bundfald kan det skyldes barium (Ba), gå videre til **Prøve for Ba**. Ses der ikke et bundfald, fortsæt nedenunder.

Kom 4 dråber analyse i et reagensglas, og tildryp natronlud (konc. NaOH). Ses intet bundfald undersøges først for lithium (Li), gå til **Prøve for Li**. Dannes et bundfald, indeholder analysen mangan (Mn) eller zink (Zn). Hvis bundfaldet går i opløsning, når man tildrypper mere natronlud undersøges prøven for Zn, gå til **Prøve for Zn**. Ellers undersøges for Mn ved at gå til **Prøve for Mn**.

Prøve for Pb (bly) og Tl (thallium)

Centrifuger blandingen med det hvide bundfald og sug ovenstående væske fra. Tilsæt konc. ammoniakvand. Hvis bundfaldet hverken ændrer farve eller går i opløsning, kan det bestå af PbCl₂.

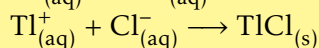
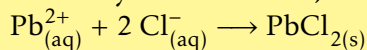
Kom 4 dråber analyse i et reagensglas og tilsæt 1 dråbe af 2 M svovlsyre. Hvis der fremkommer et hvidt bundfald, kan det skyldes, at bly fælder ud som PbSO₄. I givet fald burde bundfaldet gå i opløsning igen ved tilsætning af stærk base. Tjek derfor at bundfaldet går i opløsning igen, når der tildryppes natronlud (konc. NaOH).

Ses intet bundfald, tilsættes en dråbe kaliumiodid, KI. Ses et gult bundfald er Tl påvist.

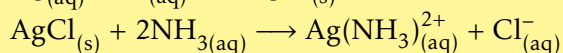
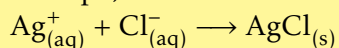


Hvad sker der? Påvisning af Pb og Tl

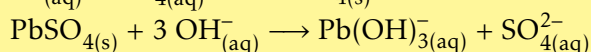
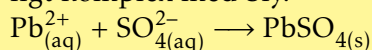
Det hvide bundfald, der blev dannet da I tilsatte saltsyre kan bestå af enten bly eller thallium, da begge danner et hvidt salt med chlorid:



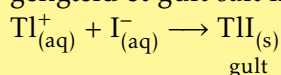
Der er imidlertid også andre kationer, der danner bundfald med chlorid, f.eks. sølv (Ag), men disse danner som oftest også komplekser med ammoniak. Disse komplekser er også farveløse, men letopløselige i vand, så hvis bundfaldet går i opløsning igen ved tilsætning af ammoniak er vi sikre på, at bundfaldet må skyldes bly eller thallium.



For at kunne skelne mellem bly og thallium udnytter vi, at bly laver et tungtopløseligt salt med sulfat, men kun blysaltet kan gå i opløsning igen hvis vi tilsætter base, ved at hydroxidionerne danner et letopløseligt kompleks med bly.



Thallium derimod, laver ikke et bundfald med sulfat, men danner til gengæld et gult salt med iod:



Prøve for Ba (barium)

Det dannede bundfald fra tilsætningen af svovlsyre under **Prøve for Pb (bly) og Tl (thallium)** skyldes dannelsen af et sulfatsalt. Blandingen med bundfaldet centrifugeres og væsken ovenover fjernes med pipette.

Bundfaldet opvarmes nu med 5 dråber natriumcarbonat i 1-2 minutter, hvorved sulfationerne i bundfaldet langsomt udskiftes med carbonater.

Derefter centrifugeres, væsken fjernes og der opvarmes igen med 5 dråber natriumcarbonat, hvorefter der igen centrifugeres, væsken fjernes og bundfaldet vaskes med vand.

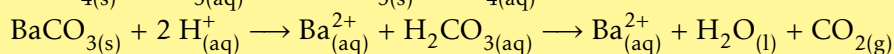
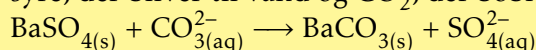
Bundfaldet opvarmes derefter med 5-10 dråber eddikesyre, hvorved alt bør gå i opløsning. En eventuelt uopløst rest centrifugeres fra.

Til den eddikesure opløsning tilsættes et par dråber kaliumchromat. Gult bundfald af BaCrO_4 viser Ba^{2+} . Kontrolprøve: Bundfaldet må ikke gå i opløsning ved tilsætning af overskud af natronlud (konc. NaOH). Går det i opløsning tyder det på Pb^{2+} .

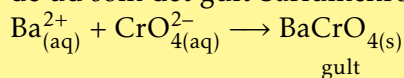


Hvad sker der? Påvisning af barium

Sulfatsaltet af barium er tungtopløseligt, så for at vi kan bringe bari-
mionerne i opløsning skal vi have fjernet sulfationerne. Dette gør vi at
opvarme det med carbonationer. Carbonationerne kan fjernes ved at til-
sætte en syre, såsom eddikesyre, hvorved carbonationerne bliver til kul-
syre, der bliver til vand og CO₂, der bobler ud af opløsningen.



Nu har vi hverken sulfationer eller carbonationer tilbage, så barium for-
bliver i opløsning. Tilsætter vi chromationer, vil bariumionerne dog fæl-
de ud som det gult bariumchromat:



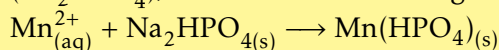
Prøve for Li (lithium)

Kom 2 dråber analyse i et reagensglas. Tilsæt 2 dråber natrium-sec-
phosphat (Na₂HPO₄). Hvis der ikke kommer et bundfald opvarmes på
vandbad. Hvis der dannes bundfald ved stuetemperatur forsætter man
med at teste for mangan (Mn) ved at gå til **Prøve for Mn**.

Hvis der først dannes bundfald ved opvarmning er Li påvist.

Hvad sker der? Påvisning af Li

Lithium fælder stort set ikke ud med nogen som helst ioner. Men det kan
let forveksles med mangan, der også næsten kun danner letopløselige
salte. For at kunne skelne mellem de to, tilsætter vi natrium-secphosphat
(Na₂HPO₄), da det kan fælde mangan men ikke lithium:



Udfør en flammeprobe. En rød flammefarve indikerer Li. En flammeprobe
udføres ved, at man tager en flammeprobevind (et stykke ståltråd med et
håndtag og et "øje") og kontrollerer at det ikke er forurenat ved at holde det
ind i en gasflamme til det er rødglødende. Hvis flammen ikke farves er prø-
vepinden ren, ellers skal vaskes og aftørres den inden brug. Når ståltråden
er afkølet dyppes den i opløsningen af analysen, så der hænger en dråbe i
"øjet". Vandet fordampes ved at holde "øjet" over flammen til fordampnin-
gen er sket. Herefter føres øjet ind i flammen og flammens farve noteres.
Herefter vaskes og aftørres flammeprobevinden og det kontrolleres atter,
om den er ren.

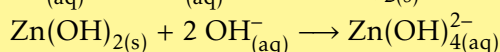
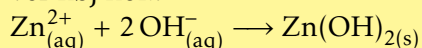


Prøve for Zn (zink)

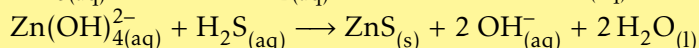
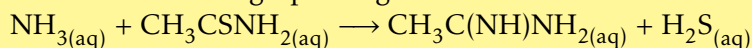
Til opløsningen med det opløste bundfald i natronlud sættes 5 dråber ammoniumchlorid (NH_4Cl), hvorefter der tilsættes 4 dråber thioacetamid. En hvid uklarhed/bundfald påviser Zn.

Hvad sker der? Påvisning af Zn

Zink danner et tungtopløseligt salt med hydroxidioner i lav koncentration, der går i opløsning igen, hvis koncentrationen af hydroxidioner bliver høj nok:



Tilsættes ammoniumchlorid (NH_4Cl) og thioacetamid vil ammoniumionerne omdannes til ammoniak i den basiske opløsning, og ammoniakken vil reagere med thioacetamidet og producere sulfid, der sammen med zink danner et tungtopløseligt salt:



Prøve for Mn (mangan)

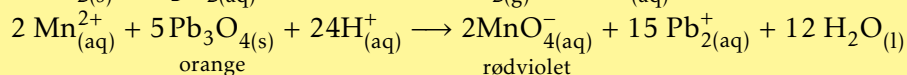
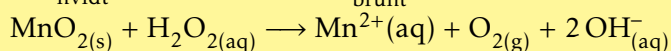
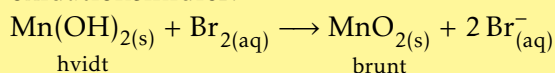
Tilsæt to dråber bromvand til blandingen med bundfaldet. Farves bundfaldet brunt (evt. efter opvarmning) skyldes det en oxidation af hvidt $\text{Mn}(\text{OH})_2$ til brunt MnO_2 . Bundfaldet isoleres ved centrifugering, vaskes en gang med 4 M salpetersyre (HNO_3), og tilstedeværelsen af mangan bekræftes således:

Til MnO_2 -bundfaldet sættes 5 dråber konc. salpetersyre (HNO_3) + 1 dråbe hydrogenperoxid (H_2O_2). MnO_2 opløses i sur H_2O_2 , idet Mangan(IV) reduceres af H_2O_2 til Mangan(II) i sur væske.

Opvarm på vandbad, og tilsæt derefter en stor spaltelfuld mønje (Pb_3O_4). Opvarm igen og centrifuger bagefter. En rødviolet farvning af den klare væske bekræfter Mn.

Hvad sker der? Påvisning af Mn

Manganionen har egentlig en svag lyserød farve, men oftest er prøven ikke koncentreret nok til at man kan se den. For at identificere mangan udnytter vi derfor i stedet at mangan kan oxideres fra oxidationstrin +II (Mn^{2+}) til +IV (MnO_2) eller hele vejen til +VII (MnO_4^-) med de rigtige oxidationsmidler:





27.2.3 Farvet analyseopløsning

Hvis analyseopløsningen er farvet, skal der testes for følgende kationer, til én er identificeret:

Analysens farve	Test for	Udfør prøve
Lysegrøn eller gul(brun)	Fe, Cr, Cu, Ni	I, II, III, IV, V
Blå	Cr, Cu	III, IV
Rød	Ni, Co	V, VI
Svag lyserød/klar	Mn	VII

Prøve I – Fe^{2+} (jern)

En vandig opløsning af analysen tilsættes 3-4 dråber 4 M saltsyre (HCl). Derefter tilsættes 1 dråbe kaliumhexacyanoferrat(III) ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$).

Hvis analysen indeholder Fe^{2+} vil der udfældes et mørkeblåt bundfald af berlinerblåt, $[\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3]$, der både indeholder Fe^{2+} og Fe^{3+} .

Prøve II – Fe^{3+} (jern)

En vandig opløsning af analysen tilsættes 3-4 dråber 4 M saltsyre (HCl). Derefter tilsættes 1 dråbe kaliumhexacyanoferrat(II) ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$). Hvis analysen indeholder Fe^{3+} vil der udfældes et mørkeblåt bundfald af berlinerblåt ($[\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3]$) udfældes.

Identifikationen bekræftes ved at overføre 4 dråber analyse til et nyt reagensglas, og derefter tilsætte et par dråber 2 M natriumhydroxid (NaOH).

Jern(II)salte giver et mere eller mindre mørkt grønligt bundfald af $\text{Fe}(\text{OH})_2$, som ved tilsætning af 1 dråbe bromvand skifter farve gennem mørk grøn til rødbrun, idet $\text{Fe}(\text{OH})_2$ oxideres til rust ($\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Jern(III)salte giver straks et rødbrunt bundfald af $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

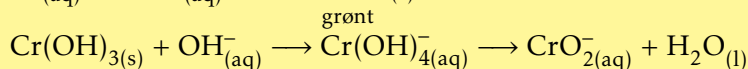
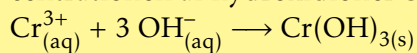
Er analyseblandingen grøn eller blåviolet kan det skyldes et krom(III)salt. Først laves en fortyndet natriumhydroxidopløsning ved at tilsætte 1 dråbe 2 M natriumhydroxid og 5 dråber vand til et reagensglas.

Tilsættes 3 dråber natronlud, bør bundfaldet gå i opløsning igen. Tilsættes efterfølgende et par dråber hydrogenperoxid (H_2O_2) til denne opløsning dannes den gule kromation Afkøl blandingen, og tilsæt 5 dråber amylalkohol. Tilsæt meget forsigtigt et par dråber kold 2 M svovlsyre til sur reaktion (undersøg med indikatorpapir). I kulden dannes et ubestandigt, blåt kromperoxid, $\text{CrO}(\text{O}_2)_2$, som ved rystning af blandingen opløses i amylalkohollaget.

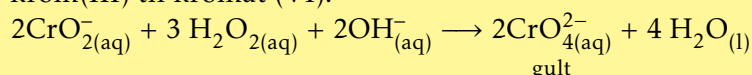


Hvad sker der? Påvisning af Cr

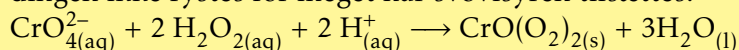
Kromsalte kan have mange farver, oftest grøn eller blåviolet, og er derfor svær at identificere på farven alene. I fortyndet base danner krom(III) et grønt bundfald af med hydroxidioner, der går i opløsning igen, hvis koncentrationen af hydroxidioner bliver høj nok:



Tilsættes hydrogenperoxid (H_2O_2) til denne opløsning oxideres krom(III) til kromat (VI):



I en sur blanding kan kromationen reagere med peroxid og danne et blå bundfald. Dette bundfald kan opløses i amylalkohol, og derfor må blandingen ikke rystes for meget når svovlsyren tilsættes.



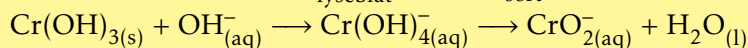
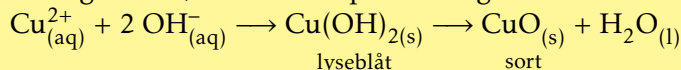
Nu afkøles blandingen, og der tilsættes 5 dråber amylalkohol og meget forsigtigt tilsættes kold 2 M svovlsyre til en sur reaktion (undersøg med indikatorpapir). I kulden dannes et ubestandigt, blå kromperoxid, $\text{CrO}(\text{O}_2)_2$, som ved rystning af blandingen opløses i amylalkohollaget.

Prøve IV – Cu (kobber)

Er analysen lys blå eller grøn, kan det skyldes et kobbersalt. Kom 4 dråber analyse i et nyt reagensglas, og tilsæt to dråber 2 M natriumhydroxid. Herved burde dannes et lyseblå bundfald af $\text{Cu}(\text{OH})_2$, som ved opvarmning bliver sort, idet der dannes CuO . Kobber identificeres således: Kom 3 dråber analyse i et rent reagensglas og tilsæt overskud af ammoniakvand. Dannelse af en dybblå opløsning viser Cu^{2+} .

Hvad sker der? Påvisning af Cu

Kobbersalte er ofte lyseblå eller grønne, men kan godt antage andre farver. Saltet af kobber(II) med hydroxid ved vi dog er lyseblå, og det har den egenskab, at det ved opvarmning omdannes til sort CuO :



Desuden danner kobber et karakteristisk dybblå kompleks med ammoniak: $\text{Cu}_{(\text{aq})}^{2+} + \text{NH}_{3(\text{aq})} \rightarrow \text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{aq})^{2+}$

blå



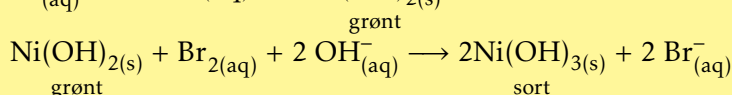
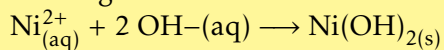
Prøve V – Ni (nikkel)

Er analysen grøn, kan det skyldes et nikkelsalt. Kom 4 dråber analyse i et nyt reagensglas. Tilsæt et par dråber 2 M natriumhydroxid, NaOH. Der bør dannes et grønt bundfald af $\text{Ni}(\text{OH})_2$, som ved tilsætning af 2 dråber bromvand oxideres til sort $\text{Ni}(\text{OH})_3$. Nikkel identificeres således:

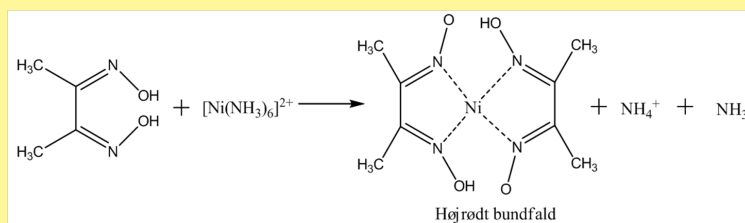
Kom 4 dråber analyse i et nyt reagensglas, hvortil der dryppes ammoniakvand til lige netop en basisk reaktion (tjek med indikatorpapir). Herefter tilsættes en alkoholisk opløsning af dimethylglyoxim. Et højrødt bundfald af nikkeldimethylglyoxim viser Ni^{2+} .

Hvad sker der? Påvisning af Ni

Nikkelsalte er oftest grønne, også nikkels salt med hydroxidioner. Dette kan dog oxideres af bromvand til sort $\text{Ni}(\text{OH})_3$:



Nikkel danner også et unikt salt med dimethylglyoxim, der har en højrød farve. Før i tiden var det denne farve man anvendte i læbestift, men i takt med at nikkelallergi er blevet hyppigere i befolkningen er dette er blevet udskiftet med andre farvestoffer.



Figur 41: Reaktionen mellem nikkels ammoniumkompleks og dimethylglyoxim, der danner et kraftigt farvet bundfald af nikkeldimethylglyoxim.

Prøve VI – Co (cobalt)

Er analysen rød, kan det skyldes et cobaltsalt. Kom 3 dråber analyse i et rent reagensglas. Tildryp 3 dråber konc. saltsyre, (12 M HCl). Derved ændres farven til blå. Ved fortynding med 5-10 dråber vand, bliver opløsningen atter rød.

Kom 3 dråber analyse i et rent reagensglas. Tildryppes nogle få dråber 2 M natriumhydroxid, fås et blåt bundfald. Tilsættes derefter 10 dråber natronlud (konc. NaOH) får det en rødgrå farve.

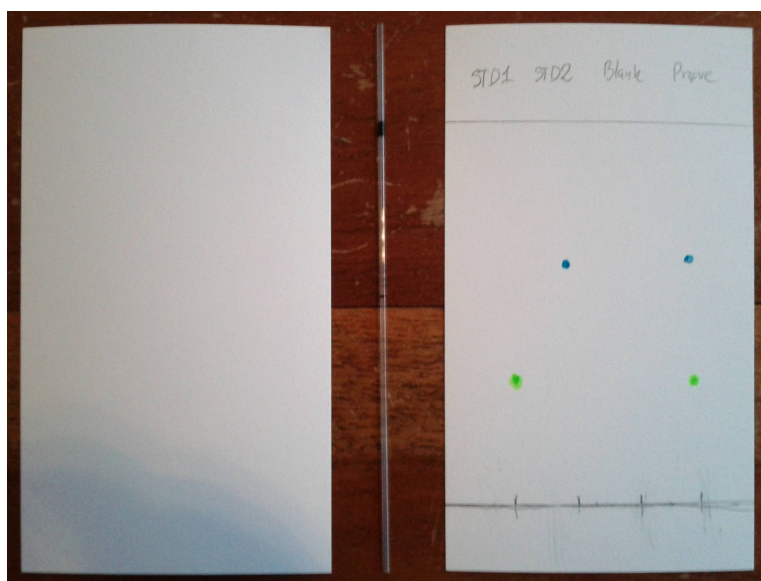
Til denne opløsning sættes 2 dråber mættet bromvand. Hvis bundfaldet bliver sort derefter, er Co påvist.

Er analyseblandingen svagt lyserød, kan det skyldes et mangan(II)salt. Mangan(II)salte er lyserøde, men farven er så svag, at fortyndede vandige opløsninger ofte er farveløse. Gå til **Prøve for Mn** på side 113.



28 Øvelse: Tyndtlagskromatografi

Tyndtlagskromatografi (TLC) er en analytisk kromatografisk metode hvor man anvender en plade med et tyndt lag af en stationær fase, ofte silica gel, til at separere sine analytter. Som mobilfase anvendes hovedsageligt organiske opløsningsmidler i forskellige blandingsforhold. Da TLC ikke er så specifik en analysemetode som eksempelvis gaskromatografi kan det være nødvendigt at foretage flere analyser med forskellige sæt opløsningsmidler for at kunne indkredse identiteten af analytten.



Figur 42: Billede af ubrugt TLC-plade, kapillarrør og TLC plade efter kørsel med to standarder, en blank og en prøve der indeholder begge standardstoffer.

28.1 Forberedelse af løbekar

Da det tager 20-30 minutter for systemet at stabilisere, kan man med fordel forberede sit løbekar, inden man går i gang med de øvrige trin. Løbekarret er et 250 mL bægerglas i hvilket der hældes ca. 5–10 mL af det relevante opløsningsmiddel, hvorefter det dækkes til med et låg (petriskål, urglas eller lignende). I skal lave to forskellige løbekar - ét der indeholder methanol blandet med konc. ammoniakvand i forholdet 200:3, dette system benævnes TA. Det andet skal indeholde Chloroform og Methanol i forholdet 90:10. Dette system benævnes TC.



28.2 Prøveforberedelse

Faste/pulverformige prøver opløses i methanol. Man tager ca. 50 mg prøve (svarer omtrent til et tændstikhoved) og opløser i 1 mL methanol i et lille reagensglas. Man venter til eventuelt uopløseligt stof har bundfældet sig. Herefter sættes opløsningen på TLC-pladen. Flydende prøver sættes direkte på TLC-pladen.

28.3 Prøvepåsætning

Tag TLC-pladen og tegn forsigtigt en blyantstreg ca. 10–15 mm fra bunden (den ene ende). Marker 4 startpunkter jævnt fordelt langs denne streg med en tværgående streg. Pas på ikke at ridse, berøre eller på anden måde ødelægge pladen. Brug kun blyant, da streger fra alle andre skriveredskaber har det med at gå i opløsning. Tag et kapillarrør og dyp et par mm ned i opløsningen / prøven, så der suges væske op i røret. Afsæt prøven på TLC-pladen ved forsigtigt at berøre denne med kapillarrøret, så der opstår en plet ca 2-3 mm i diameter. Skriv i toppen af pladen hvilken prøve, der er sat på hvor. Sæt op til 4 prøver eller standarder på hver plade, én på hver startpunkt. Vent til pladen er helt tør (man ikke længere kan se den våde plet) inden den sættes i løbekarret. Alle plader skal laves i to eksemplarer - ét der skal køres i system TA, og et i system TC.

28.4 Kørsel af pladen

Tag låget af løbekarret, sæt forsigtigt pladen ned i opløsningsmidlet, så du undgår sprøjt eller bølgedannelse, og læg låget på igen. Tag ikke låget af løbekarret imens pladen kører. Vent nu indtil væsken er løbet ca 2/3 - 3/4 op af pladen (ca. 15 min). Tag pladen op og marker straks med en blyant hvor væsken er nået til og lad den ligge i stinkskalet til den er tør.

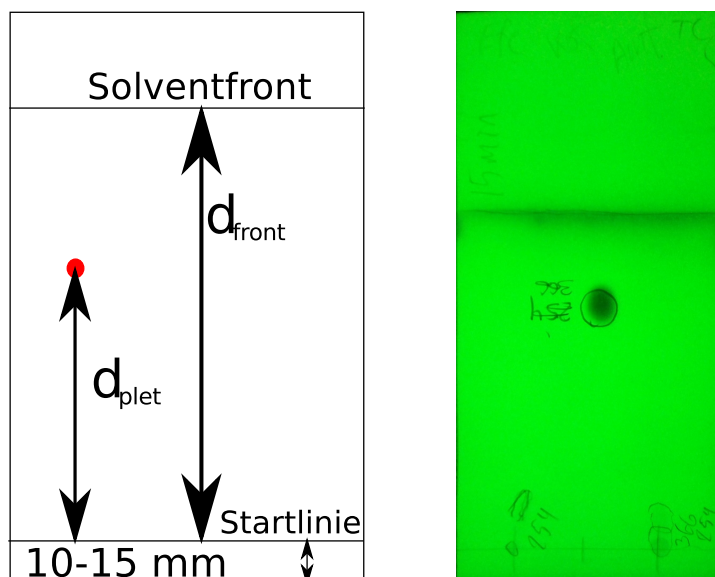
28.5 Fremkaldelse / visualisering af pladen, og beregning af R_f -værdi

Når pladen er tør kan den visualiseres ved hjælp af UV-lys. Hold pladen ind under UV-lampen og marker hvilke pletter man kan se hvor, og ved hvilken bølgelængde. Noter bølgelængden ved siden af pletten. Fotografer evt. pladen. R_f (Retentionsfaktor) beregnes som følgende: $R_f = d_{\text{plet}}/d_{\text{front}}$, hvor d_{plet} er afstanden fra basislinien til midten af pletten, og d_{front} er afstanden fra basislinien til solventfronten.

Hvis de analyserede stoffer ikke er farvede i sig selv kan man ofte se dem



ved hjælp af ultraviolet lys. Nogle stoffer fluorescerer under ultraviolet lys, og andre absorberer ultraviolet lys. Da pladerne er imprægneret med et fluorescerende stof, vil man kunne se mørke pletter hvor der absorberes ultraviolet stråling. Hvis ikke man kan se nogle pletter under UV-lys, kan man forsøge at visualisere sine stoffer med forskellige reagenser, der fremhæver eller farver analytterne.



Figur 43: Skitse af centrale begreber og eksempel på TLC-plade visualiseret under UV-lys.

28.6 Udledning af stofidentitet

Ud fra de fundne R_f -værdier kan man se i tabeller fremlagt i laboratoriet hvilke stoffer der kan være tale om. I begge systemer vil der være flere stoffer der har samme R_f -værdi. Derfor anvendes begge systemer sideløbende. Stofferne kan nu identificeres ved at undersøge hvilke stoffers R_f -værdier der passer med begge systemer samtidig. Herefter kan man lave organisk identifikation for at bekræfte at de funktionelle grupper der skal være i molekylet også kan påvises.



29 Vejledning i kvalitativ organisk stofidentifikation

Ved en organisk identifikation prøver man at opklare den kemiske struktur af en organisk forbindelse. I de tilfælde, hvor stoffet er beskrevet i litteraturen, går organisk stofidentifikation ud på, at vise, at det ukendte stofs kemiske og fysiske egenskaber er identiske med et kendt stofs. Hvis det ukendte stof og det kendte stof har ens kemiske og fysiske egenskaber betragtes de to stoffer som identiske.

Formålet med denne øvelse er, at identificere en organisk forbindelse i en prøve. Blandt de udleverede faste eller flydende analyser kan der forekomme 6 forskellige stoftyper (funktionelle grupper): Alkoholer, aldehyder, ketoner, carboxylsyrer, estere og aminer.

Identifikation foregår i to trin.

- Identifikation af den funktionelle gruppe, bl.a. gennem opløselighedsundersøgelser og test for funktionelle grupper
- Identifikation af "selve" stoffet, f.eks. vha kromatografi

Vejledningen i kvalitativ organisk stofidentifikation er opbygget i tre underafsnit som skal følges, for at identificere den funktionelle gruppe i den ukendte forbindelse.

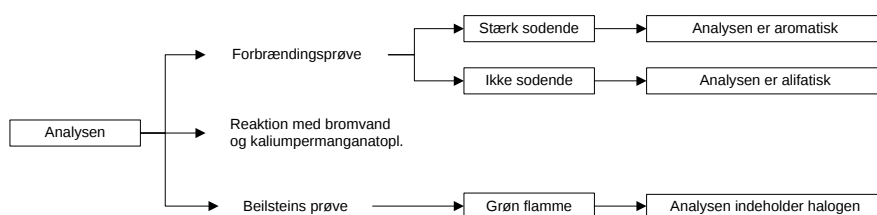
29.1 Indledende iagttagelser

Før man begynder at undersøge de kemiske og fysiske egenskaber af et stof, bør man notere sig stoffets udseende: tilstandform og farve. De fleste organiske forbindelser er farveløse. Derfor er det en vigtig iagttagelse hvis stoffet er farvet. Blandt de farvede forbindelser kan bl.a. nævnes α -dicarbonylforbindelser, som er gule, men taber farven i vandlig opløsning pga. hydratdannelse og aromatiske nitroforbindelser er ofte gule eller røde.



29.2 Indledende kemiske undersøgelser

De første indledende kemiske undersøgelser er simple og hurtige, men man kan ikke konkludere så meget definitivt på baggrund af dem, men sammenholdt med senere forsøg, får man dog et indtryk af grundstrukturen af molekylet.



Figur 44: Flowdiagram over arbejdsgangen i organisk stofidentifikation

1. **Test for halogener: Beilsteins prøve** En kobbertråd glødes i en gasflamme indtil flammen ikke mere farves grøn. Efter afkøling dyppes tråden ned i analysen og stikkes igen ind i gasflammen. Hvis flammen herved farves grøn, viser det tilstedeværelsen af halogen, idet der dannes Cu(II)halogenid, der fordamper og farver flammen.

2. Test for aromatisk struktur: Forbrændingsprøve

På en metalspatel anbringes en smule stof (en knivspids fast stof eller nogle få dråber væske). Spatelen holdes ind i en bunsenbrænderflamme. Aromatiske forbindelser brænder med en stærkt sodende flamme. Hvis forbindelsen ikke soder er analysen alifatisk. Bemærk at tilstedeværelse af O-holdige funktionelle grupper kan forstyrre dette billede.

3. Test for C=C dobbeltbinding:

Til to reagensglas sættes $\frac{1}{2}$ mL (eller en knivspids) af prøven. Kald reagensglassene *a* og *b*. Til reagensglas *a* tilsættes ca. 2 dråber bromvand. Hvis prøven indeholder C=C dobbeltbindinger affarves bromvandet, hvilket kan skyldes en additionsreaktion, en substitutionsreaktion eller en redoxreaktion.

Til reagensglas *b*, samt et referenceglas indeholdende $\frac{1}{2}$ mL ren ethanol, tilsættes 2 dråber kaliumpermanganatopløsning (KMnO₄). Hvis KMnO₄ affarves skyldes det en redoxproces. Referenceglasset medtages, da KMnO₄ også kan reagere med ethanol. Der skal således være forskel på de to glas for at prøven kan betragtes som positiv.



Affarves bromvand, men ikke kaliumpermanganat tyder dette på, at processen er en substitution eller addition, og stoffet kan være f.eks. en phenol eller en aromatisk amin. Affarves kaliumpermanganat men ikke bromvand, er det en redoxproces, der kræver et kraftigt oxidationsmiddel. Affarves begge reagenser, er det vanskeligt at konkludere noget.

29.3 Opløselighedsforsøg

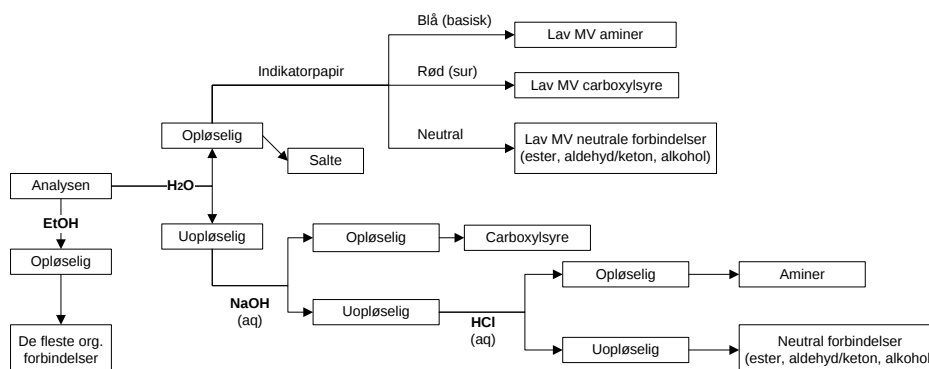
Opløseligheden af et stof bør undersøges i følgende opløsningsmidler

- Ethanol
- Vand
- Saltsyreopløsning
- Natriumhydroxidopløsning

1. I 4 små reagensglas placeres 50 mg (en dråbe/tændstikshoved) af analysen. Mærk glassene A, B, C og D. Nu tilsættes 0,5 mL ethanol til glas A, 0,5 ml vand til glas B, 0,5 mL saltsyre til glas C og 0,5 mL natriumhydroxid til glas D og man iagttager efter grundig omrøring hvor analysen er letopløselig. Marker de letopløselige reagensglas med (++).

NB: Hvis din analyse er en væske, vær da opmærksom på at det kan være svært at se, om der er én eller to faser. pH i den vandige opløsning (opslemning) måles med indikatorpapir. Sammenlign farven med den, der fås med rent vand (fra samme flaske).

2. Dernæst tilsættes yderligere 0,5 mL (omrøring) og man iagttager hvor analysen er opløselig, men ikke letopløselig, Marker med (+).
3. Endelig tilsættes yderligere 0,5 mL af de nævnte opløsningsmidler (omrøring), og man iagttager, hvor analysen er uopløselig. Marker med (-).
4. Resultaterne af disse opløselighedsforsøg noteres.



Figur 45: Flowdiagram over arbejdsgangen i organisk stofidentifikation

29.4 Bestemmelse af funktionelle grupper

På baggrund af opløselighedsforsøgene skulle I nu have en god idé om hvorvidt stofferne tilhører kategorierne carboxylsyre, aminer eller neutrale forbindelser (aldehyd, keton, alkohol eller ester)

Alt efter resultatet arbejdes nu videre med påvisningen af de funktionelle grupper.

Test for carboxylsyre ($R-COOH$): Natriumhydrogencarbonatprøve Til ca. 2 mL af en mættet $NaHCO_3$ -opløsning sættes dråbevis prøven. Hvis en gas bobler op (CO_2), er carboxylsyre påvist. Enkelte stoffer kan give fejlreaktion!

Test for primære aminer Opløs ca. 10 mg β -naphthol i 2M natriumhydroxid (opløsning A). Opløs derefter ca. 10 mg prøve i 5 dråber 4M saltsyre (opløsning B). Overfør dråbevis med pipette opløsning B til opløsning A. Et stærkt farvet bundfald viser tilstedeværelsen af en primær amin.

Test for neutrale forbindelser

Hvis analysen ud fra opløselighedsforsøgene ikke har vist hverken syre- eller baseegenskaber betragtes forbindelsen som neutral. Den funktionelle gruppe bestemmes da med følgende forsøg

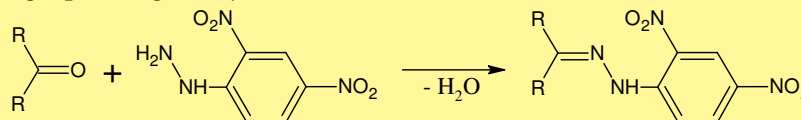
1. Test for carbonylgruppe: 2,4-dinitrophenylhydrazinprøve

Til ca. 5 mL 2,4-dinitrophenylhydrazin i 2M HCl i et reagensglas sættes 2-3 dråber (eller et krystal) af prøven. Hvis prøven indeholder carbonyl, vil der straks udfældes et voluminøst gult/orange/rødt bundfald. Hvis prøven er positiv undersøges for aldehyd.



Hvad sker der ? Påvisning af carbonylgruppe

Med carbonylforbindelser danner 2,4-dinitrophenylhydrazin tungtopløselige hydrazone ved en kondensationsreaktion



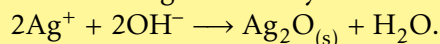
Alifatiske, mættede carbonylforbindelser giver gule bundfald, mens umættede og aromatiske carbonylforbindelser giver orange bundfald. Dette farveskift mod den røde del af det synlige spektrum kan forklares ved etablering af et større system af konjugerede dobbeltbindinger for de to sidstnævnte typer hydroazoner.

2. Test for aldehyd:

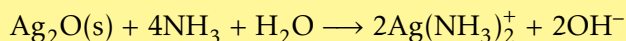
5 dråber sølvnitrat og 2 dråber 2 M natriumhydroxid blandes. Det dannede bundfald af sølvoxid opløses ved dråbevis tilsætning af 12 M ammoniakvand. Til denne blanding sættes ca. 10 mg analyse. Et sort til gråt bundfald af sølv eller et sølvspejl viser aldehyd. Hvis prøven er negativ er carbonylforbindelsen en keton.

Hvad sker der ? Påvisning af aldehyd med Tollens prøve

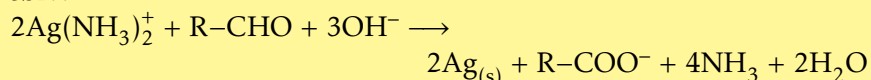
Sølvnitrat og natriumhydroxid danner tungtopløseligt sølvoxid:



Ved tilsætning af ammoniakvand går bundfaldet i opløsning under dannelse af sølvdiamminion:



Et aldehyd, R-CHO reducerer i basisk væske sølv(I) til metallisk sølv:



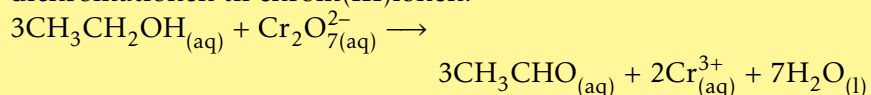
Det metalliske sølv kan sætte sig som et flot sølvspejl på indersiden af reagensglasset eller udfælde kolloidt (sort suspension). Både alifatiske og aromatiske aldehyder giver positiv reaktion med Tollens prøve (evt. ved svag opvarmning). Efter dannelse af sølvspejl hældes opløsningen i affaldsbeholderen, da der ved længere tids henstand er risiko for dannelse af det eksplosive sølvnitrid.

3. Test for alkohol:

Til 5 dråber Beckmanns blanding sættes lidt analyse. Hvis der er tale om en primær, sekundær eller tertiær alkohol eller et aldehyd vil der ske et farve skift fra orange til grøn. Hvis reaktionen er positiv, husk da også at test for aldehyd.

**Hvad sker der ? Påvisning af alkohol med Beckmanns blanding**

En opløsning af kaliumdichromat i fortyndet svovlsyre anvendes som oxidationsmiddel i organisk kemi og organisk syntese. Beckmanns blanding kan bl.a. anvendes til oxidation af primære og sekundære alkoholer samt aldehyder. Under anvendelse reduceres dichromationen til chrom(III)ionen:



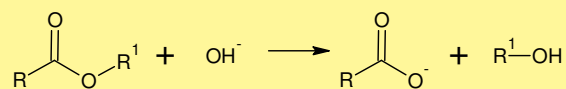
Reaktionen ledsages af et farveskift fra orange ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) til grøn (Cr^{3+}).

4. Test for estere:

Tag to reagensglas og tilsæt 1 mL H_2O + 1 mL ethanol + 1 dråbe 2M NaOH og et stykke indikatorpapir (ca. 2 cm) til hver glas. Til det ene reagensglas sættes nu 5 dråber analyse: Farven iagttages i de to glas, derefter placeres de i et varmt vandbad i 5 min. og farven iagttages igen. Har glasset med analysen indeholdt en ester, vil indikatorfarven svare til et lavere pH end farven i reference glasset.

Hvad sker der ? Påvisning af ester

Her identificeres esteren ved en simpel basisk hydrolyse med NaOH og der iagttages en ændring af pH





30 Øvelsesvejledning: Diffusion

30.1 Bestemmelse af diffusionskonstant

1. Fyld en plastiktallerken med ca. 0,5 cm vand.
2. Placer en lineal henover tallerkenen.
3. Dryp med et sugerør et par dråber frugtfarve ned i midten af tallerkenen. Før sugerøret ned til vandoverfladen inden dråberne frigives.
4. Notér starttidspunktet
5. Notér diameter og tidspunkt hver gang diameteren er vokset med ca. 1 cm.
6. Brug målepunkterne til at eftervise diffusionsligningen.
7. Bestem diffusionskonstanten

30.2 Cirkelmønstre

1. Placer de to transparenter, så centrene af cirklerne er ca. 6 cm fra hinanden.
2. Placer en blank transparent over de to cirkler.
3. Tæl nu et lige stort antal cirkler ud fra hvert centrum, og markér de punkter, hvor de to cirkler skærer hinanden.
4. Gentag for flere cirkler.
5. Hvad kan der siges om de markerede punkter?
6. Gentag punkt 3)-5) to gange, hvor der nu tælles et forskelligt antal cirkler ud fra de to centre (fx hvor der hele tiden er talt to cirkler længere ud fra det venstre centrum end fra det højre).

30.3 Triangulering

1. Udvalg to af punkterne hvor der er observeret sygdom.
2. Find det af de to punkter, der blev observeret først.
3. Tegn en cirkel om punktet, der har en radius større end halvdelen af afstanden mellem punkterne.



4. Beregn tiden det har taget at diffundere ud til den cirkel. Brug diffusionskonstanten fra det tidligere forsøg.
5. Beregn den afstand som stoffet har tilbagelagt fra det andet punkt til samme tid.
6. Indtegn den tilsvarende cirkel.
7. Tegn en linje gennem cirklernes skæringspunkter.
8. Gentag 1)-7) for andre par af punkter.
9. Bestem oprindelsesstedet for forureningen.



31 Øvelsesvejledning: Varmetransport

31.1 Udstyr

Hver gruppe skal bruge:

- 2 engangsbægre af plast
- 2 stykker klæde, der kan pakkes omkring et engangsbæger (karklude eller viskestykker er helt ideelle)
- 2 termometre
- 1 skål med et volumen, der er mindst seks gange større end engangsbægeret

Under alle forsøg holdes det ene termometer ude i fri luft, og virker som referencemåling.

31.2 Reference

- Hæld kogende vand i papirkruket.
- Sænk termometeret ned i vandet og optag kølekurven.

31.3 Isoleret afkøling

- Pak et papirkrus ind i en karklud
- Hæld kogende vand i papirkruket.
- Sænk termometeret ned i vandet og optag kølekurven.

31.4 Dobbeltisoleret afkøling

- Pak et papirkrus ind i to karklud
- Hæld kogende vand i papirkruket.
- Sænk termometeret ned i vandet og optag kølekurven.



31.5 Afkøling i vand

- Sænk et papirkrus ned i et vandbad
- Hæld kogende vand i papirkruset.
- Sænk termometeret ned i vandet og optag kølekurven.

31.6 Isoleret afkøling i vand

- Pak et papirkrus ind i en karklud.
- Sænk papirkruset ned i et vandbad.
- Hæld kogende vand i papirkruset.
- Sænk termometeret ned i vandet og optag kølekurven.

31.7 Træk

- Stil et papirkrus i vindueskarmen.
- Hæld kogende vand i papirkruset.
- Sænk termometeret ned i vandet og optag kølekurven.

Mine noter

[illegible]





32 Opgavebesvarelser

Opgave 1:

x_3 kan have værdierne -3, -1, 1, 3. x_4 kan have værdierne: -4, -2, 0, 2, 4

Opgave 2:

værdier i x_3 er ulige mens værdier i x_4 er lige.

Opgave 3:

Random walken skal ende med værdier i sættet: -7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7.
Hvor værdierne med lav absolut værdi er de mest sandsynlige.

Opgave 4:

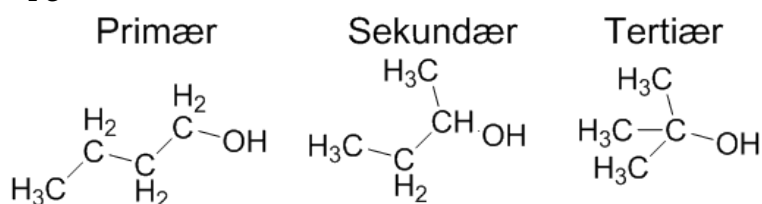
$$D = \frac{(2\text{cm})^2}{5\text{min}} \quad (75)$$

Opgave 5:

C6V-ALUMINIUM, L6L-BLY, G10V-CALCIUM, J10L-CERIUM, C14V-CÆSIUM, L9L-GULD, C12V-JERN, M2L-KALIUM, O5L-KOBBER, I4V-KOBOLT, M2V-KROM, I4L-KVIKSØLV, B9V-LITIUM, P2L-MAGNESIUM, C5L-NATRIUM, G7V-NIKKEL, G2L-PLATIN, H9L-RADIUM, I8L-SØLV, G5L-TIN, C7V-TITAN, F9L-URAN, L5V-ZINK

Opgave fra www.gratissskole.dk.

Opgave 6:

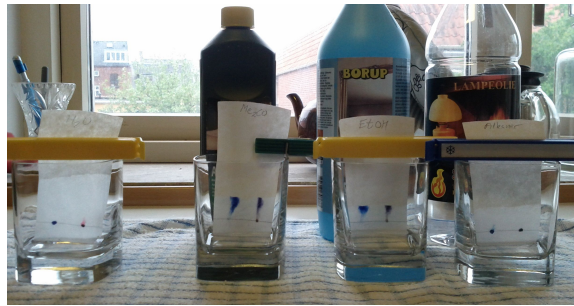


Opgave 7:

a) R-OH, b) RCHO, c) RCONR₂, d) RNH₂, e) RCOOH, f) RCOOR' og g) RCOR'.

Opgave 8:

Se billede næste side.





33 Kilder til figurer

Figur 1: Modificeret fra <http://www.interpol.int/Public/DisasterVictim/Forms/Default.asp>.

Figur 2: Illustration, Johan Sund Laursen.

Figur 3: Modelfoto, Laila Fuchtbauer.

Figur 4: Modelfoto, Laila Fuchtbauer.

Figur 5: Modelfoto, Laila Fuchtbauer.

Figur 6: Modificeret fra C. Henssge, B. Madea / Forensic Science International 144 (2004) 167–175.

Figur 7: Illustration, Henrik Skov Midtiby. Billeder fra <http://mnogoavtomobilej.narod.ru/>.

Figur 8: Illustration, Linda Ahrenkiel.

Figur 9: Billeder fra <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>.

Figur 10: Modificeret fra *Solving Crimes with Physics* af William Hunter.

Figur 11: Modificeret fra *Solving Crimes with Physics* af William Hunter.

Figur 12: Modificeret fra *Solving Crimes with Physics* af William Hunter.

Figur 13: Illustration, Linda Ahrenkiel.

Figur 14: Illustration, Henrik Skov Midtiby.

Figur 15: Illustration, Henrik Skov Midtiby.

Figur 16: Illustration, Henrik Skov Midtiby.

Figur 17: Illustration, Laila Fuchtbauer.

Figur 18: Illustration, Laila Fuchtbauer.

Figur 19: Illustration, Anders Foller Larsen.

Figur 20: Illustration, Linda Ahrenkiel.

Figur 21: Illustration, Linda Ahrenkiel.



Figur 22: Illustration, Linda Ahrenkiel.

Figur 23: Illustration, Linda Ahrenkiel.

Figur 24: Illustration, Dennis Lund Hansen.

Tabel 1: Fra wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Median_lethal_dose.

Figur 25: Illustration, Dennis Lund Hansen.

Tabel 2: Tabel, Linda Ahrenkiel.

Tabel 3: Modificeret fra Helge Mygind, Kemi 2000 A2.

Figur 26: Modificeret fra Wikipedia.

Figur 27: Fundet vha. Google image search.

Figur 28: Illustration, Laila Füchtbauer.

Figur 29: Illustration, Linda Ahrenkiel.

Figur 30: Fra <http://www.beodom.com/en/education/entries/principles-of-thermal-insulation-heat-transfer-via-conduction-convection-and-radiation>.

Figur 31: Modificeret fra <http://schatzsucher.rorschach.ch/wp-content/uploads/2009/02/das-eisen-wird-geschmiedet1.jpg>.

Figur 32: Illustration, Philip Roland Jarnhus.

Figur 33: Modificeret fra C. Henssge, B. Madea / Forensic Science International 144 (2004) 167–175.

Figur 34: Fra <http://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=10048919>.

Figur 35: Fra <http://www.biosite.dk/leksikon/gaskromatografi.htm>.

Figur 36: Fra <http://webbook.nist.gov/chemistry>.

Figur 37: Illustration, Martin Worm–Leonhard.

Figur 38: Venligt stillet til rådighed af Retskemisk Afdeling ved Retsmedicinsk Institut, SDU.

Figur 39: Foto, Birgitte Schmidt Astrup



Figur 40: Illustration, Anders Foller Larsen.

Figur 42: Foto, Martin Worm–Leonhard.

Figur 43: Illustration og foto, Martin Worm–Leonhard.

Figur 44: Illustration, Johan Sund Laursen.

Figur 45: Illustration, Johan Sund Laursen.



34 Ordliste

Absorbtion	Optagelse
Acceleration	Ændring af hastighed over tid. Denne ændring kan have både positivt og negativt fortegn.
Amplifier	Signal-forstærker anvendt i bl.a. gas kromatografi
Analyt	Det molekyle, som der detekteres for i en analytisk procedure såsom kromatografi
Aorta	Hovedpulsåren, som leder blodet fra venstre hjertekammer ud i det systemiske kredsløb
Arterie	Pulsåre, der fører blodet fra hjertet og ud i kroppen.
Arteriole	En mindre forgrening af en pulsåre.
Atriet	Forkammer i hjertet
AV-knuden	En gruppe celler placeret mellem højre forkammer og hjertekammer, som viderefører det elektriske signal til hjertekamrene, der får dem til at trække sig sammen.
Bevægelsesmængdebevarelse	Summen af masse ganget med hastighed er altid konstant
Bowmans kapsel	Kapsel, som omgiver hver enkelt glomerulus i nyrerne.
Bronkie	En forgrening af de nedre luftveje, hvorigennem luften passerer fra luftrøret til lungernes væv.



Bæregas	Den mobile fase i gas kromatografi, som er en inert gas, der "bærer" analytterne gennem systemet
Clearance	Renselsesindeks, som viser hvor meget der udskilles af et bestemt stof i forhold til koncentrationen af stoffet i blodet
Dekomponere	Nedbryde
Den glomerulære filtrationsrate	Hastigheden hvormed blodet filtreres i nyren, forkortet GFR
Diffusion	Transport af molekyler drevet af koncentrationsgradienten
Diffusionskoefficient	Den naturkonstant, der angiver hvor hurtigt noget udbredes i et medie ved hjælp af tilfældige bevægelser.
Diurese	Hastighed hvorved urin dannes. Forkortet V og har normalt enheden mL/min
Dødfunden	At man er død uden opsyn og findes i afdød tilstand uden oplysninger om dødstidspunkt, -årsag eller -måde
ED ₅₀	Den dosis der fremkalder den ønskede effekt hos 50 procent af forsøgsobjekterne
Exciteret tilstand	En særlig anslået tilstand et atom kan være i. I denne mere ustabile tilstand er en eller flere elektroner i en højere elektronbane/orbital i forhold til den stabile grundtilstand
Farmodynamik	Læren om lægemidlers virkning på kroppen
Farmakokinetik	Læren om kroppens behandling af lægemidler



Farmakologi	Læren om lægemidlers virkning og passage gennem kroppen
Farmakon	Lægemiddel eller andet stof der indgives i kroppen og følger reglerne for farmkodynamik og farmakokinetik. (flertal: farmaka)
Fordelingskoefficient	Konstant der fortæller hvordan et stof fordeles mellem en polær og en upolær fase
Friktion	Gnidningsmodstand
GC	Gaskromatografi
Glomerulus	Lille kugleformet legeme i nyrerne i form af en karnøgle, som er omgivet af Bowmans kapsel. Det er i glomerulus, at filtrationen af blodet finder sted i nyren
Henssages nomogram	Grafisk værktøj til at beregne tiden, der er gået siden døden indtraf
Injektion	Indsprøjtning
Irreversibelt	Ugenoprettelig
Kapilære	Hårkar, den mindste type af blodkar.
Kinetisk energi	Den energi som et noget har som følge af bevægelse. Er lig med $\frac{1}{2}m \cdot v^2$.
Konduktion	Varmetransport ved at bevægelser af atomer og molekyler påvirker bevægelserne af de atomer og molekyler i nærheden af dem



Konvektion	Varmetransport ved at hurtigt bevægende molekyler flytter sig i materialet
LD ₅₀	Den dosis der fremkalder den død hos 50 procent af forsøgsobjekterne, fortrinsvis dyr
Lungekredsløb	Den del af blodkredsløbet der pumper blodet gennem lungerne hvor det iltes. Blodet i lungekredsløbet pumpes af højre hjertehalvdel.
Makroskopisk	Noget der kan observeres i "stor skala", altså uden særlige hjælpemidler. Modsat "mikroskopisk"
MS	Masse spektroskopi
Nefron	Den funktionelle enhed i nyren, som strækker sig fra Bowmans kapsel til nyrebækkenet
NMR	Kernemagnetisk resonansspektroskopi (engelsk: Nuclear Magnetic Resonance)
Normalkraft	Den kraft underlaget udøver på en genstand der hviler på det. Er på plane, vandrette flader lige så stor som, og modsat rettet tyngdekraften.
Nomogram	Se Henssoges nomogram
Parasympaticus	Det parasympatiske nervesystem. Del af det autonome nervesystem som er aktiv i hvile.
Parasympatolytika	Stoffer, der nedsætter effekten af det parasympatiske nervesystem.
Parasympatomimetika	Stoffer, der øger effekten af det parasympatiske nervesystem.



Postmortel Redistribution	At koncentrationerne af visse giftstoffer, rusmidler og lægemidler ændrer sig efter dødens indtræden, fordi de fordeler sig anderledes i kroppen end da personen var i live
Random walk	En simpel model for diffusion
Rectum	Endetarmen
Retentionsfaktor	Forholdet mellem hvor langt en given analyt og solventet vandrer fra startlinien op ad TLC-pladen, forkortet R_f
Retentionstid	Den tid det tager for en analyt at passere gennem et analytisk system til en given detektor.
Reversibelt	Genoprettelig
Sinusknuden	En gruppe celler placeret øverst i højre forkammer, der skaber det elektriske signal, som får hjertet til at trække sig sammen.
Slagfrekvens	Det antal gange, hjertet slår på 1 minut. Svarer normalt til pulsen.
Solvent	Opløsningsmiddel
Specifik varmekapacitet	Et stofs varmekapacitet – dvs den varmemængde i joule, der skal anvendes for at opvarme 1 kg af det givne stof og denne fase 1 grad
Stråling	Varmetransport ved at atomers svingninger i et molekyle producerer stråling i form af en bølglængde tilsvarende temperaturen af molekylet, som undslipper molekylet



Sympaticus	Det sympatiske nervesystem. Del af det autonome nervesystem, som er aktivt under stress situationer.
Sympatolytika	Stoffer, der nedsætter effekten af det sympatiske nervesystem.
Sympatomimetika	Stoffer, der øger effekten af det sympatiske nervesystem.
Systemisk kredsløb	Den del af blodkredsløbet der pumper blodet gennem resten af kroppen (fraregnet lungerne). Blodet i det systemiske kredsløb pumpes af venstre hjertehalvdel.
TD ₅₀	Den dosis der fremkalder den forgiftning hos 50 procent af forsøgsobjekterne
TLC	Tyndlagskromatografi (engelsk: Thin Layer Chromatography)
Tubulus	Rørsystem i nyrerne
Vene – Venole	Tyndvæggede blodårer, der fører blodet tilbage til hjertet. De større hedder Vener, de mindre hedder venoler
Vejrtrækningsfrekvens	Det antal gange, en person trækker vejret på 1 minut.
Ventrikel	Hjertekammer