

VRAAG: Waarom explodeert een ei bij verhitting in een magnetron?

Deelproblemen:

1. Wat gebeurt er bij verhitten in water?
2. Wat gebeurt er bij verhitten in een magnetron?
3. Wat gebeurt er bij het koken van een ei in water?
4. Waar bestaat een ei uit?
5. Is er verschil in samenstelling van een rauw ei, een in water gekookt ei en een ei gekookt of geëxplodeerd in de magnetron?
6. Waarnemingen bij verschillende proefjes.

Uit de oplossingen uit de deelproblemen moet het antwoord op de vraag gevonden worden.

1. **Verhitten in water**

De warmte van vuur of kookplaat dringt langzaam via de wand van de pan , via water in het voedsel door. Daarbij verplaatst de warmte zich gaandeweg, vanaf de wand van de pan tot in het centrum. Pas na verloop van enige tijd raakt het voedsel in de pan daardoor aan de kook. We spreken hier over geleidingswarmte. Om bij koken van een ei in water te voorkomen dat het ei bast, wordt een gaatje geprikt in de luchtkamer of wordt wat zout of azijn aan het kookwater toegevoegd, waardoor bij barsten het uitlopend eiwit sneller denatureert dan in gewoon water.

Dus koken in water: langzame warmte overdracht door geleiding.

2. **Verhitten een magnetron**

In een vacuümbuis wordt elektrische energie (uit het lichtnet) omgezet in elektromagnetische golven: microgolven. Deze microgolven worden gelijkmatig door de magnetronruimte verdeeld. De microgolven worden door metaal weerkaatst. De magnetronruimte vormt als het ware een metalen kooi. De microgolven (frequentie 2,5 miljard trillingen/ 5000000000 Hzseconde) dringen onmiddellijk een paar centimeter diep in het voedsel door. Door de intermoleculaire-wrijving (door de stortvloed van microgolven) stijgt de temperatuur in een brede zone zeer snel. Naar mate het voedsel meer watermoleculen bevat kunnen micro-golven er gemakkelijker in doordringen.

Dus: in een magetron wordt elektrische energie omgezet in elektromagnetische microgolven. Door ~~intermoleculaire-wrijving~~ wordt het voedsel snel ook binnenin heet.

3. **Wat gebeurt er bij het koken van een ei?**

Bij verhitting van een ei in kokend water stolt eerst het eiwit en langzamerhand ook

trillingen van 10

3. Wat gebeurt er bij het koken van een ei?

Bij verhitting van een ei in kokend water stolt eerst het eiwit en langzamerhand ook de dooier. De eiwitten denatureren. Elk eiwit heeft een specifieke vorm. Dit betreft niet alleen de verschillende aminozuren waaruit het eiwit is opgebouwd, maar ook de ruimtelijke vorm. De aminozuurketens zijn als het ware opgevouwen. Deze eiwitten dobberen rond in het fysische water in het ei. Door verhitting ontrollen de eiwit ketens zich. Dit proces is onomkeerbaar. Wat we zien is gestold eiwit.

4. Waar bestaat een ei uit?

Een ei van 60 gram bestaat uit: schaal van 6 g, een dooier van 18 g en eiwit van 36 gram.

Volgens de NEVO tabel (Nederlands voedingsstoffen bestand 1990) bevat een rauw en een gekookt kippeï (zonder schaal) 13 % eiwit, 11 % vet, 0 % koolhydraten en 75 % water (en nog vitamines en mineralen). Een ei van 60 g bevat dus 7 g eiwit, 6 g vet en 41 g water. Na koken blijft de voedingswaarde gelijk. 65 gram.

5. Is er verschil in samenstelling (watergehalte) van een rauw ei, een in water gekookt ei en een ei gekookt in de magnetron?

Het antwoord hierop is te vinden d.m.v. proefjes. Resultaat:

een rauw ei van 68 g weegt na koken water 68 g.

een rauw ei van 62 g weegt na langzaam verhitten in de magnetron 62 g.

de stukken van een rauw ei van 62 gram wegen na explosie in de magnetron 58 g (niet waarbij niet alle stukjes verzameld konden worden (er bleven wat restjes achter in de magnetron). Kortom er verdampt geen water uit het ei.

6. Waarnemingen bij de verschillende proefjes.

a. Een rauw ei bestookt met 650 Watt (max. vermogen) microgolven explodeert na 1^{ste} seconde. Het ei lag in een glazen ovenschaal met deksel. Door de explosie is het deksel opgelicht en de inhoud in de hele magnetron verspreid. Het geëxplodeerde ei bestaat uit zeer veel stukjes ei die gaar (gedenatureerd) zijn. Stukjes schaal, wit van ei en dooier zijn te onderscheiden. (zie foto 1)

b. Een rauw ei bestookt met 90 Watt (ontdooistand) microgolven blijkt na 10 minuten 'hard gekookt' te zijn. Het ei is nog heel. Wit van ei en dooier zijn gedensatureerd.

c. Een gekookt ei bestookt met 650 Watt (max. vermogen) microgolven explodeert na 1^{ste} seconde. De explosie is minder heftig dan bij a. Toch wordt ook hier het deksel van de schaal even opgelicht. De ravage is echte minder groot. (zie foto 2)

d. Een dooier van een rauw spiegel ei (dus zonder schaal) gebombardeerd met 650 W microgolven geeft na 2^{de} seconde een plofje. Het dooiervlies is gebarsten en het geel wat omhoog gekomen. De dooier is gedensatureerd het wit van van het ei slecht een beetje aan de buitenkant.

e. Wegen voor en na bereiden (zie foto 3) elektronische weegschaal 2 gram nauwkeurig.

Een rauw ei van 68 g weegt na 10 minuten koken in kokend water nog 68 gram.

Een rauw ei van 62 g weegt na 10 minuten verhitten in de magnetron bij 90 W nog 62 gram.

residuele tijd na koken

2000g 2000g 2000g 2000g

Na verhitten van een rauw ei van 62 g in de magnetron met 650 W konden 58 g resten verzameld worden. Hierbij moet worden opgemerkt dat het niet mogelijk was alles te verzamelen.

- f. Een eetlepel rauw eimengsel denatureert onmiddellijk als je het in water van 85 ° C laat glijden. (zie foto 4). (literatuur vanaf 65 °C)

Mogelijk antwoord op de vraag

Een rauw ei bevat circa 40 g ^{water} water. Een ei bevat dus veel vocht; microgolven worden snel omgezet in intermoleculaire wrijvingswarmte. Aangezien de schaal van het ei niet uit kan zetten stijgt de druk in het ei zeer snel (principe hogedrukpan maar dan zonder ventiel of hogedruk beveiliging) en explodeert. Door de hoge temperatuur is het eiwit gedenatureerd.

Een gekookt ei explodeert onder dezelfde omstandigheden ook, maar de explosie is minder heftig. Een gekookt ei bevat evenveel water. Dit water is niet chemisch gebonden, maar bevindt zich in fysische vorm tussen de gedenatureerde eiwitketens. (nog even navragen!). Waarschijnlijk is de explosie minder heftig omdat er meer kracht nodig is om het reeds gekookte ei te laten exploderen. Elk ei zal bij verhitting in de magnetron (hoelangzaam ook) op den duur barsten, aangezien er steeds energie wordt opgenomen en door geleiding maar weinig energie wordt afgegeven.

Om de dooier van een ei zit het dooiervlies. Hierdoor wordt bij verhitting ook een hoge druk opgebouwd en knapt na verloop van tijd het dooiervlies.

Presentatie

Ter illustratie kan de vergrote foto getoond worden met het geëxplodeerde ei. Een video-opname toont nauwelijks iets, aangezien in de ruit van de magnetronruimte een metalen raster zit waardoor de microgolven worden teruggekaatst. Vooral bij een donkere binnenkant is dan weinig te zien. Het is wel duidelijk te horen wanneer er een explosie is.

Bij de uitleg kan desgewenst gebruik gemaakt worden van sheets waarop de hoofdzaken staan met kleine illustraties (uit kookboek).

Het verdient aanbeveling deze presentatie te oefenen.

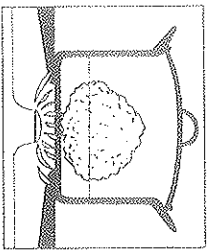
Presentatie door andere groep

Van te voren moet je hiervoor slimme vragen bedacht hebben.

b.v. zie ook boven.

- verandert de samenstelling van het ei door koken in water c.q magnetron? zie 4 en 5
 - een rauw ei explodeert, wat gebeurt er met een gekookt ei in de magnetron? zie 6c
 - wat houdt het stollen (denatureren) van eiwit en eigeel in en wat gebeurt er met het water in het ei. zie 3
 - wat gebeurt er bij verhitten van een spiegelei in de magnetron? antwoord zie 6c
 - kun je eigenlijk wel een ei koken in de magnetron? antwoord zie 6d
- (er zijn ook magnetron eierkokers in de handel; een soort eierdop met deksel, hierin giet je de inhoud van een ei, dus zonder dop, belangrijk is het dooiervlies door te prikken. 30 tot 60 seconden verhitten op de hoogste stand, anders nog kans op explosie.

Geleidingswarmte: van buiten naar binnen



Natuurkundeloes

het voedsel werd overgedragen steeds gelijk: de warmte van het vuur of de kookplaat dringt langzaam via de wand van de pan, via water of vet, in het voedsel door. Daarbij verplaatst de warmte zich gaandeweg, vanaf de wand van de pan tot in het centrum. Pas na verloop van enige tijd geraakt het voedsel in de pan daardoor aan de kook. We spreken in dit verband van 'geleidingswarmte'.

Wat gebeurt er eigenlijk wanneer voedsel wordt verwarmd? Laten we deze vraag iets algemener stellen: wat gebeurt er wanneer iets warm wordt? Even een kleine natuurkundeloes. Zoals u zich wellicht uit uw schooltijd herinnert zijn vrijwel alle stoffelijke zaken in dit ondermaanse opgebouwd uit moleculen. Deze moleculen zijn – dat weet u misschien ook nog wel – voortdurend in trilling, ook al is die trilling met het blote oog niet waarneembaar. Wanneer nu een voorwerp warmer wordt dan betekent dit dat de moleculen waaruit het is opgebouwd sterker zijn gaan trillen ten gevolge waarvan de temperatuur van het voorwerp stijgt. Wahn, bij de magnetron draait alles om het versterken van de trilling van voedselmoleculen. Anders gezegd: om de omzetting van kinetische in thermische energie.

Terug naar het fornuis

We hebben reeds uiteengezet dat de mens zijn voedsel tot dusverre door middel van geleidingswarmte heeft verhit. Daarbij worden allereerst de voedselmoleculen in de buurt van de wand van de pan sterker in trilling gebracht. Deze trilling plant zich gaandeweg voort tot in het midden van het gerecht, waardoor dit steeds warmer wordt. Bij een gerecht dat in een hete oven wordt geplaatst gebeurt in feite hetzelfde: door de omringende hete lucht wordt allereerst de buitenkant van het gerecht verhit waarna – door middel van geleiding – ook in de rest van het gerecht de temperatuur stijgt. In een oven is de hete lucht bovendien droog. Dit heeft tot gevolg dat het gerecht een fraai korstje krijgt.

En nu de microgolven

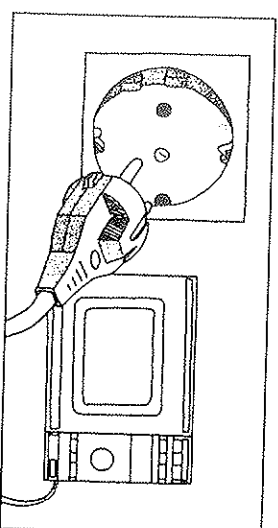
Ook in de magnetron worden de voedselmoleculen sterker in trilling gebracht. Dit effect wordt bereikt met microgolven, die met een frequentie van circa tweehalf miljard keer per seconde onmiddellijk een paar centimeter diep in het voedsel doordringen. Door de intermoleculaire wrijving die de stortvloed van microgolven teweeg brengt stijgt daarbij de temperatuur – in een brede zone – verrassend snel, veel sneller dan wanneer hetzelfde voedsel in een pan op het fornuis zou worden verwarmd.

Vocht

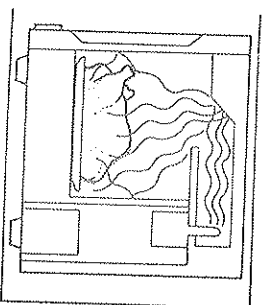
Bij het verwarmen van voedsel met behulp van microgolven spelen enkele factoren een belangrijke rol. Om te beginnen het vochtgehalte van het voedsel. Naarmate het voedsel meer watermoleculen bevat kunnen microgolven er gemakkelijker in doordringen. (Aangezien vrijwel alles wat we consumeren voor een groot gedeelte uit water bestaat, kan ons voedsel op een enkele uitzondering na met succes in de magnetron worden verwarmd.) Voorts is de hoeveelheid vet en/of suiker die het voedsel bevat van belang en maakt het levens verschild of het voedsel in vaste of in vloeibare vorm in de magnetron wordt gezet. Een suikeroplossing wordt – we noemen een voorbeeld – vliegensvlug heet, maar met een klont kandij hebben de microgolven meer moeite. Een brok vet neemt tamelijk langzaam energie op, olie daarentegen wordt in een ommezen gloeiend-heet. Water in vloeibare vorm wordt aanmerkelijk sneller warm dan water in vaste vorm (een ijsblokje).

Zó werkt de magnetron

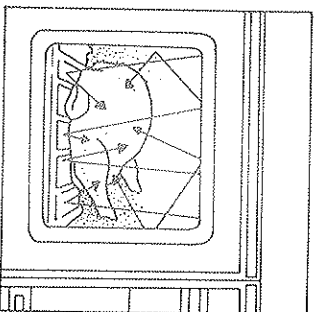
Rest ons de vraag hoe de magnetron functioneert. U hebt ongetwijfeld opgemerkt dat uw magnetron is voorzien van een degelijk snoer, met net zo'n steker (met rand-aarde) als de meeste elektrische apparaten in uw keuken. Daaruit hebt u terecht de conclusie getrokken dat de magnetron zonder meer op elke geaarde wandcontactdoos van het normale lichtnet kan worden aangesloten.



Zodra de magnetron wordt ingeschakeld wordt de elektrische energie uit het lichtnet omgezet in elektromagnetische golven: microgolven. (Dit gebeurt in de technische 'kern' van de magnetron, waarin o.a. een vacuümbuis zit, die – om de verwarring te vergroten – door deskundigen 'het' magnetron wordt genoemd.) Deze microgolven worden via een vernuftig systeem verder geleid om uiteindelijk gelijkmatig door de gehele magnetronruimte heen te worden verdeeld.

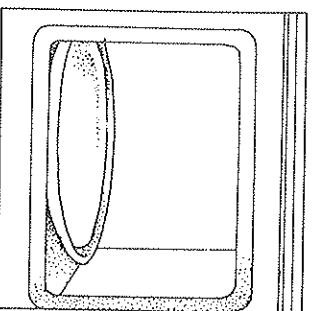


golven is dat ze door metaal worden weerkaatst. Bij de constructie van magnetrons wordt van deze eigenschap een dankbaar gebruik gemaakt: de wanden, de bodem en het plafond van de magnetronruimte worden van metaal vervaardigd. De deur wordt voorzien van een zeer fijnmazig raster (voldoende fijnmazig om alle microgolven "binnens kamers" te houden). Bovendien kan de deur, dank zij een uitgekende afdichting, vrijwel hermetisch worden gesloten. Op deze wijze vormt de magnetronruimte als het ware een "metalen kooi", die de microgolven die meestal via een golfgeleider binnenkomen, gevangen houdt. De microgolven kunnen niet ontsnappen en blijven binnen de magnetronruimte heen en weer flitsen, van wand naar wand en vice versa, van bodem naar plafond en weer terug en tussen deur en



achterwand, met de al eerder genoemde frequentie van circa tweehalf miljard keer per seconde, tordat ze met voedselmoleculen in aanraking komen. Bij die ontmoeting tussen microgolven en voedselmoleculen ontstaat warmte.

Gelijkmatische verdeling van microgolven



Door de meeste fabrikanten van magnetrons wordt grote aandacht besteed aan een optimale verdeling van de microgolven binnen de magnetronruimte. Immers, het is niet de bedoeling dat de voedselmoleculen op de ene plaats wel en elders niet met microgolven in aanraking komen. Op allerlei manieren probeert de fabrikant derhalve de magnetron zo te construeren, dat de kookresultaten niets te wensen overlaten. Daarbij wordt de ene magnetron voorzien van een draaiplaatje, waarop de gerechten langzaam ronddraaien en heeft men bij andere magnetrons in het plafond van de magnetronruimte (aan het oog onttrokken) een ronddraaiende antenne of "golfverdelers" aangebracht. Ook zijn er magnetrons waarbij de microgolven van meer dan één kant de magnetronruimte binnenkomen en magnetrons