



# Stenærter – hvad er det, hvad er årsagerne her-til, hvordan kan det udgås og kan det afhjælpes?

Af Jesper Fog-Petersen, Innovationscenter for Økologisk Landbrug

## Hovedkonklusion/sammendrag

Flere forbrugere, virksomheder mm. oplevede hårde og uopløselige ærter i deres ærter til konsum, hvilket ødelægger den samlede oplevelse af kvaliteten af bælgfrugterne og dermed anvendelsen. Andelen af stenærter i danske konsumærter er ikke afdækket, men i andre bælgfrugter, hvor man observerer samme problem, ligger niveauet på 4-6% i gennemsnitlige normale år og vurderes til 10-15% i år med tørke. Det har vist sig, at der er to hovedårsager til frøhårdhed og kogebarhedsdefekter, så ærterne ikke vil opsuge væske og dermed koge møre. Den ene skyldes "Hard-Shell"-fænomenet, hvor frøene ikke optager vand under iblød-sætning. Det skyldes genetisk variation i ærtesorternes hårdhed i frøskallen og evne til at tåle stress. Dette fænomen afdækkes ikke udførligt her, for det handler om sortvalg og udbud af egnede sorter.

Rapporten her fokuserer derfor på den anden hovedårsag - Hard-to-Cook (HTC)-fænomenet, som udgør et stort kompleks, der stadig ikke er fuldt belyst i litteraturen. Det opleves at frøene ikke blødgøres ordentligt under kogning, selv efter vandoptagelse. Hard-to-Cook (HTC) fænomenet er en teksturel defekt, som påvirker bælgfrugter som ærter, bønner og linser. Fænomenet opstår, når frøene mister deres evne til at absorbere vand og blødgøre under tilberedning. Hovedårsagerne til HTC er en kombination af biokemiske, strukturelle og kemiske ændringer, som påvirkes af miljøforhold, lagring og genetiske faktorer. Her kan landmanden gøre en forskel for at minimere påvirkningerne ved at sikre velegnede dyrkningssikre, ensartede arealer med god vandforsyning, rettidig høst, korrekt tørring og lagring. Så er man kommet langt, men lige så vigtigt er det at undgå mangan-mangel, da selve mangan-manglen og den efterfølgende stress af planten medfører små og hårde frø og samme dårlige egenskaber kan være relateret til HTC-fænomenet gennem deres fælles virkning på cellevæggens struktur og frøskallens permeabilitet.

Det er dog muligt at opnå bedre vandoptagelse/hydrering i stenærter, ved at tilsætte syre eller salt som f.eks. citronsyre og natron. Anvendelse af tryk under hydrering sikrer en mere ensartet og hurtigere proces, selv for stenærter. Så den samlede konklusion er, at øget fokus på valg af dyrkningsareal, høsttidspunkt, korrekt tørring og lagring, samt generelt fokus på at minimere afgrødestress som f.eks. mangan-mangel må forventes at betyde en markant reduktion af stenærter i den færdigt producerede råvare. Hvilke tiltag der giver mest effekt vil variere fra dyrkningssæson til dyrkningssæson, men ved at optimere på alle plan, må der forventes en markant reduktion af stenært i den færdigt producerede råvare til næste led i værdikæden.



## Metode

Denne rapport prøver via litteraturstudie og almen dyrkningsteknisk viden på området at afdække hvilke årsager der kan være til dannelse af stenært, samt om man med øget fokus hos landmændene dyrkningsteknisk eller på anden måde, kan være med til at reducere problemet med stenært i råvaren til konsum. Ved hjælp af følgende keywords: non-soakers, hard-to-boil, hard-to-cook phenomenon, hard-shell phenomenon, hydration of peas, manganese efficiency in peas, harvesting drying and storage of peas, er der fundet nyeste relevante studier der omhandler stenært og hvad der fører til problemet, udbredelsen af problemet, samt hvilke dyrkningstekniske forhold der er mest relevante i forhold til stenært. For at afdække problemets omfang i Danmark, er der taget kontakt til fødevarerivirksomhederne Aurion og Pure Dansk, som begge opkøber, pakker og forhandler bælgfrugt til konsum, for at høre om deres erfaringer og vurdering af omfanget med stenært i de produkter de afsætter.

Den indhentede litteratur og viden er samfattet i denne rapport i forhold til den danske produktion af ærter til konsum. Årsagerne til stenært er herefter vurderet i forhold til hvordan øget fokus hos producenten af konsumært, kan være med til en markant reduktion af stenærter i den færdigt producerede råvare. Der er også ud fra litteraturstudiet lavet en vurdering af, om stenært har en betydning ernæringsmæssigt, hvis de indgår i føden, samt om man i køkkenet eller i fødevarerindustrien kan øge hydreringen af stenært, og undgå problemet yderligere i fremtiden ved forskellige tiltag som øget fokus ved forædling, dyrkning, tørring mm.

## Indledning

Bælgfrugter som ærter og bønner er kendt for deres høje indhold af protein, kostfibre, vitaminer og mineraler. De spiller en central rolle i bæredygtige fødevarer-systemer på grund af deres evne til at fiksere kvælstof, hvilket reducerer behovet for gødning i dyrkningssystemer. Imidlertid har flere forbrugere, virksomheder mm. oplevet stenærter i deres ærter til konsum. Fænomenet stenærter, også kendt på engelsk som non-soakers, ødelægger den samlede oplevelse af kvaliteten af bælgfrugterne og dermed deres anvendelse og accept blandt forbrugere og fødevarerindustrien, da de opleves som små, hårde ærter, som ikke vil koge møre, hvilket er til stor gene i henhold til køkkenernes ønske om en attraktiv og ensartet fødevarer at arbejde med.

Problemet blev tydeligt i forbindelse med udsendelse af smagekasserne i projektet "Sunde og velsmagende bælgfrugter", hvor forskellige sorter og arter af bælgfrugter blev sendt til en række professionelle køkkener, og fødevarerivirksomheder. Flere brugere af smagekassen fremhævede de såkaldte stenærter som problematiske og uønskede i råvaren, idet de er/var svære, eller ligefrem umulige, at koge ud, og det kræver dermed ekstra ressourcer i køkkenet eller fødevarerproduktionen af sortere dem fra. Dette er ikke optimalt for anvendelsen af ærten i hel form til konsum. Derfor dykker denne rapport ned i de komplekse mekanismer bag stenært, forebyggende strategier og muligheder for at afhjælpe problemet gennem god landmandspraksis i form af forebyggelse f.eks. ved bekæmpelse af mangan-mangel og korrekt valg af høsttidspunkt, tørring og lagring, samt nye innovative metoder som hydrering. Stenært er ikke noget problem til melproduktion, og formodes ikke at være et problem ved afskallede ærter, som splitærter.

Processerne der fører til stenært beskrives inden for den nyeste videnskab som Hard-to-Cook fænomenet, som normalt forkortes til HTC, hvilket også gøres i denne rapport.



## Hvor stort er problemet i Danmark

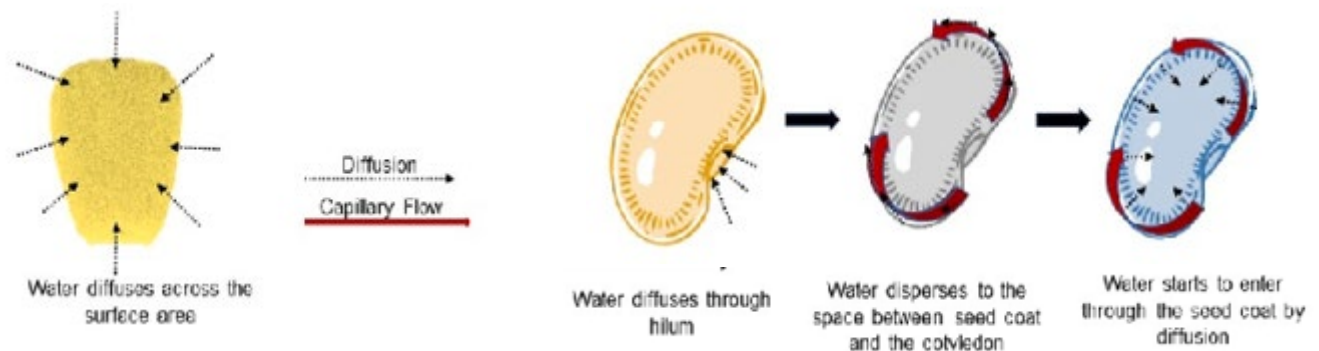
Der findes på nuværende tidspunkt ingen evidens for problemets omfang i Danmark, men med den øgede anvendelse bælgfrugter og især ærter til konsum i Danmark, er der blevet indrapporteret flere og flere enkeltbeskrivelser af oplevelser med stenærter. Firmaet Aurion som får produceret konsumært hos landmand i hele Danmark, og herefter pakker og sælger dem til konsum, er erfaringerne, at der kommer reklamationer i enkelte tilfælde hvert år. Ikke lige mange tilfælde hvert år. I 2022 hvor der var en kraftig tørke i visse områder af landet oplevede de flere problemer stenærter, som endte hos forbrugerne. De har ikke statistik eller anden evidens på omfanget af problemet, og har ikke viden/teknik til at teste omfanget af problemet i deres råvare, hvilket selvfølgelig ikke er helt optimalt. Aurion har fået flere forespørgsler på hvad stenærterne skyldtes og om det var sorten, eller andet det var galt med. Denne rapport kan forhåbentlig hjælpe til øget fokus på de rette tiltag, så stenært/HTC-fænomenet begrænses til et minimalt omfang de fleste år.

## Hvor stort er problemet i resten af verden

Omfanget er ikke fuldstændigt undersøgt globalt, men i den australske videnskabelige afhandling "Hard-to-cook phenomenon in common legumes: Chemistry, mechanisms and utilisation" (Kilde 1), vurderer man, at i år med tørke globalt, vil op til 10-15% af den samlede bælgsejdsproduktion være ramt af HTC-fænomenet. Generelt ligger niveauet på ca. 4-5 procent i gennemsnitlige normale år. Det varierer mellem arter og sorter af bælgfrugter til konsum, og dem er der mange af globalt. Generelt rammes de arter af bælgfrugter, der normalt dyrkes under varmere himmelstrøg hårdere end dem under mere tempererede himmelstrøg, hvilket forklares nærmere i afsnittet om miljømæssige faktorer der udløser HCT.

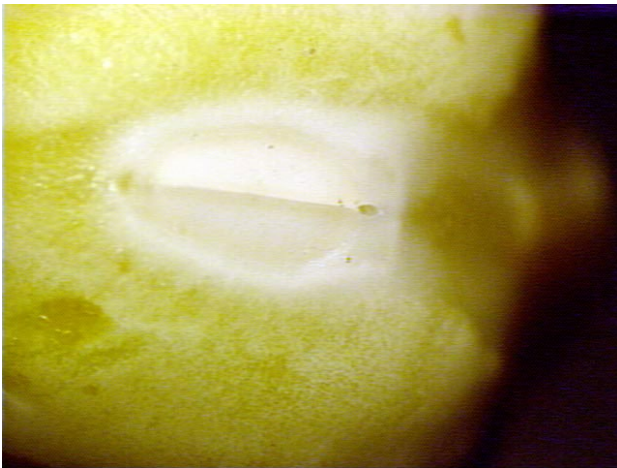
## Opblødning af bælgfrugter vs. korn

Fænomenet stenært opstår på grund af frøets manglende evne til at optage vand. Derfor beskrives det hvordan frøet af tørret ært optager vand ved opblødning, i forhold til tørret korn. Vi er ikke vandt til stenhårde ris eller korn, når det er kogt. Årsagen er at korn og bælgfrugter har to meget forskellige hydreringsmønstre (måder at optage vand på). En forskergruppe ved University San Paulo, i Brasilien (Kilde 2), har arbejdet intenst på at afdække forskellene, da forklaringen på problemet stenært og hårde bælgfrugtfrø generelt er stærkt forbundet til bælgfrugtens opbygning. De er nået frem til at i korn og græsser som hvede, byg, havre, majs, ris og hirse, er det yderste lag af kernen langt mere permeabel for vand end ved bælgfrugter, så vandet kan trænge ind over stort set hele kernens overflade fra starten af en opblødning/kogning. Opblødningen af bælgfrugtfrøet er helt anderledes. Bælgplanter, såsom ært, har en uigennemtrængelig frøskal, og ærtens hydreringsadfærd er noget anderledes end korns, fordi vandgennemtrængeligheden kan variere afhængigt af den komplekse struktur, forskellige væv og celle størrelser, struktur, sammensætning og zoner af ært/bælgfrugtfrøet (Se Figur 1.). Derfor er ærtens hydreringsproces langt mere kompliceret end kornets. Først skal vandet diffundere ind i frøet igennem hilum via hilar-rillen (se Billede 1), da frøskallen er mere eller mindre uigennemtrængelig for vand. Herefter diffunderer vandet efterfølgende ind i mellemrummet mellem cellévæggene i kimblad (*cotyledonet*) og frøskal, hvilket efterfølgende øger frøskallens permeabilitet, og i sidste fase hydreres kimbladet (*cotyledonet*) gennem diffusion og kapillærstrømning udefra via den ydre skal, som ved korn og græsser.



**Figur 1:** Fra figurens venstre side viser illustrationen optagelse af vand i korn/majs, som sker lige fra starten via hele overfladen af kernen via diffusion. Herefter ses frøet af en bælgfrugt, hvor optagelsen af vand først sker via diffusion gennem hilum/hilar-rillen, og herefter på næste stadie vandret via diffusion gennem cellerne i kimbladet under frøskallen, for til sidst at blødgøre frøskallen indefra, så diffusion kan ske udefra via frøskallen (Kilde 2).

Stenærter opstår når stres og varme mm. ændrer cellestrukturen og cellevæggene, så vandet ikke kan flytte sig fra hilar-rillen, videre ind i frøet via diffusion. Dermed forhindres sidste fase som ses på Figur 1, hvor diffusion af vand udefra til sidst sker gennem hele frøskallen udefra. Hvad der går galt og hvordan det undgås, beskrives i næste afsnit.



**Billede 1:** Her ses den lille hilar-rille ved hilum, hvor vandet i første omgang skal trænge ind i frøet ved ud-blødning. Foto: Michael W. Clayton.

## To typer teksturfejl i bælgfrugter:

1. **Hard-Shell fænomenet:** Frøene optager ikke vand under iblødsætning pga. hård skal.
2. **Hard-To-Cook (HTC) fænomenet:** Frøene blødgøres ikke ordentligt under kogning, selv efter vand-optagelse.



Hard-Shell fænomenet skyldes som navnet siger en hård frøskal, hvilket hovedsageligt er genetisk betinget og derfor til konsum kan afhjælpes med rette sortvalg og udblødningstid. Stenærter opstår ikke direkte under Hard-Shell fænomenet, men indirekte, da sorterens stress-tolerance varierer. Stress under tørke, sygdomsangreb eller som reaktion på mikro- og makronæringsstofmangel varierer dog med ærte-sorterne og leder frem til Hart-To-Cook fænomenet, som er hovedårsagen til stenært. Sammenhængene mellem de to ovenstående fænomener er desværre ikke fuldt undersøgt.

## Forklaring på Hard-to-Cook fænomenet

Som beskrevet ovenfor, er ært i forvejen svær at få opblødt i forhold til korn, men desværre kan strukturen i ærtefrøet ændres så markant, at frøet slet ikke vil opsuge vand, eller det tager for lang tid i forhold til almindelig udblødningstid og kogetid af ærten til et måltid eller et produkt. Inden for forskningen er det først i nyere tid, at man er begyndt at komme tættere på årsagerne til stenært/non-soakers og årsagen er ifølge forskerne selv ikke fuldt belyst, men den nyeste viden på området, som er lavet af et Australsk-ledet forskerteam (Kilde 1), beskriver hovedårsagen som tidligere nævnt til at være Hard-to-Cook (HTC) fænomenet.

HTC skyldes som tidligere nævnt en teksturel defekt, og er desværre irreversibel og primært forbundet med strukturelle og sammensætningsmæssige ændringer i cotyledonet/kimbladene i frøet. Dette afsnit gennemgår de centrale mekanismer, der fører til HTC. Nedenstående forklaringer bygger på de Australske forskeres arbejde om, hvilke faktorer der påvirker dannelsen af HTC og hvordan det som god driftsledelse fra landmandens side kan reduceres.

### Kollaps i cellestrukturen og uønskede biokemiske processer

Cellevæggene i frøets kimblade spiller en central rolle i forhold HTC, da vandet som tidligere nævnt burde kunne diffundere igennem her fra hilar-rillen, da diffusion normalt virker mellem cellerne og gennem cellevæggene, når de er normalt fordelt, og ærtefrøet er dannet normalt. En af de mest fremherskende forklaringer på HTC-fænomenet kaldes \*pektin-kation-fytat-hypotesen\*. Ifølge denne hypotese har plantens celler et højt indhold af fytinsyre (et naturligt stof, der binder mineraler som calcium og magnesium). Under stress i løbet af ærteplantens vækst og ved tørring og lagring, kan mineralerne frigives, hvilket fører til en dannelse af uopløselige forbindelser, der gør ærterne hårde. Aktivering af enzymer i ærterne bidrager også til disse processer ved at ændre frøets cellestruktur, hvilket forværrer HTC-effekten. Samtidigt ændrer strukturen sig mellem cellevæggene, så de skrumper og klumper. Det gør det svært eller umuligt for diffusion af vand.

Ikke nok med at der sker fysiske forandringer i frøet, så opstår der også ved stress mm. ofte uønskede kebio-/kemiske forandringer af stofferne i frøet, som er med til at gøre skallen mere fortykket og det besværlig-gør vandindtrængningen gennem hilar-rillen. Samlet set betyder det, at frøet ikke kan optage væske og forbliver hård. Se mere om de mere præcise videnskabelige fysiske/kemiske ændringer under Bilag 1 nedenfor, hvis du finder det interessant. Nedenfor beskrives hvad der sætter gang i processerne, der fører til dannelse af HTC og hvad der er mest optimalt for at undgå dannelsen af HTC. I afsnittet om høst, tørring og lagring kan du se hvilke fysiske forandringer der sker i frøet når det lagres for varmt (Figur 2)



**Billede 2:** *Fine ny høstede ærter, hvor der nemt kan være stenærter iblandt. Foto: Tomas Fibiger Nørfelt.*

## Dyrkningsmæssige faktorer der kan påvirke HTC

Ud over høst, tørring og lagring findes der flere mindre faktorer, der kan påvirke andelen af HTC. Disse inkluderer miljøforhold, sortsvalg, gødningspraksis og håndtering. I de efterfølgende afsnit kan du læse om korrekt valg til høst, tørring og lagring.

### Sortsvalg

Sortsvalg i forhold til konsumærter, er i øjeblikket fokuseret på kendte og velafprøvede sorter kulinarisk og produktionsteknisk, så det er ofte sorter som Ingrid, Sirius, Lolanske Rosiner, Brunært fra Nakskov mm. man anvender. De er ikke valgt pga. deres evner til at undgå stenært og problemer med dårlig udblødning. Vi har ikke på de danske sorter der anvendes nogen viden om deres tendens til stenært i forhold til hinanden. Men det er helt sikkert, at der er markante genetiske forskelle mellem de forskellige ærtesorter og til dels mellem typer af ærter. Vil du vide mere om dette kan du læse den videnskabelige artikel om test af 24 forskellige sorter af ærter (Kilde 3).

Forskellige ærtesorter udviser en naturlig variation i tilbøjeligheden til at producere hårde frø. En genetisk forskel mellem sorterne kan være skal-tykkelsen og deres vandabsorberende egenskaber. Dette forhold har ikke noget med HTC-fænomenet at gøre, men beskrives som Hard-shell-fænomenet. At en sort som udgangspunkt genetisk har en tyk og svært gennemtrængelig skal, er altså ikke en defekt som HTC-fænomenet. Men en genetisk tyk skal vil selvfølgelig også give udfordringer med opblødningstiden og kogetid, men her vil alle frøene opføre sig ens, da de er genetisk ens. Det er først når disse ærter bliver udsat for stres og forkert høst, tørring og lagring, at de kan ændre via HTC-fænomenet. Nogle sorter er mere resistente over for klimatiske stressfaktorer, hvilket mindsker risikoen for hårde frø, selv under ugunstige forhold. Det er derfor vigtigt at vælge sorter, der er velegnede til lokale klimaforhold og kendt for at producere færre hårde frø.

Igangværende forskning arbejder med forskelle i ærtesorternes hilar-rille, som varierer en del mellem sorter. Hypotesen der arbejdes med, er at en stor hilar-rille må give bedre mulighed for vandoptag, i første fase af frøets hydrering, samt at formen og forholdet mellem protein og stivelse vil have betydning. Der er dog ikke kommet nogle klare resultater fra denne forskning, andet end der ser ud til at kunne være sammenhænge.

De to fænomener, HTC og Hard-Shell's påvirkning af hinanden, er ikke undersøgt tilstrækkeligt, selv om det kunne være rart.



## Gødskning

Som i alle andre afgrøder, er det vigtigt for en god plantevækst, et godt udbytte og en god kvalitet, at afgrødens næringsstofforsyning er bedst muligt dækket ind. Det samme gælder i højeste grad en afgrøde der skal anvendes til konsum. Alle former næringsstofmangel, kan være en stres-faktor for planten og være med til at udvikle dårlige rødder, nedsat væsk og udbyttet – alt i alt faktorer der vil påvirke planten negativt og som vil være med til at kunne øge HTC-problemer i den efterfølgende afgrøde, især hvis manglen påvirker vandoptag mm. under tørke og anden vækststres. F.eks. er kalium meget vigtigt for ærterne vækst, udbytte og kvalitet, men mangan-mangel er nok et overset problem på økologiske ejendomme, da ekstra tilførsel i vækstsæsonen kræver dispensation. Derfor er betydningen af mangan-mangel behandlet som et selvstændigt emne nedenfor. Forsyningen af mikronæringsstoffet kobolt er også meget relevant, da det indgår som en vigtig del af kvælstoffikseringen.

## Håndtering og transport

- **Skånsom håndtering:** Frø, der beskadiges under høst eller transport, har større risiko for at udvikle HTC.
- **Sorteringsprocesser:** Effektive sorteringsmetoder kan hjælpe med at fjerne stenærter og minimere spild. Stenært vil ofte være mindre om mere rynkede end de øvrige ærter og kan sorteres fra ved dette eller flyder ovenpå ved udblødning i vand.

## Miljømæssige faktorer

- **Tørke og varme:** Klimaforhold som tørke og høje temperaturer under vækstperioden forværrer HTC, da de fører til tvangsmodning af frøene, hvilket resulterer i ufuldstændig celleudvikling.
- **Jordkvalitet og vandforsyning:** Dårlig jordstruktur og utilstrækkelig vandforsyning stresser planterne, hvilket kan resultere i hårdere frø med ringere vandabsorberende egenskaber.

## Manganmangel i ærter og dens konsekvenser i forhold til HTC

Den udbredte manganmangel på mange danske jorder, og inden for økologisk landbrug gør, at det blev taget med i rapport. I foråret blev et større antal økologiske ærtemarker undersøgt for manganmangel, og med undtagelse af en enkelt mark, havde de alle manganmangel. Det må derfor vurderes til at have en væsentlig betydning for HTC-problemet i ærter til konsum herhjemme. Sammenhængen og konsekvensen kan du læse om nedenfor:

### Effekter på frøene

Manganmangel kan føre til en specifik lidelse kaldet *Marsh Spot*, som forårsager brunlige misfarvninger eller nekrotiske områder i cotyledonet (kimbladene) på ærtefrø. Disse skader reducerer frøenes kvalitet, gør dem mindre attraktive for konsum og kan påvirke deres kulinariske egenskaber.

Ved høst kan frø, der er ramt af manganmangel, have lavere vægt og en højere andel af deformerede eller misfarvede frø. Disse defekter kan gøre dem svære at blødgøre under kogning og dermed potentielt bidrage til HTC-fænomenet. Nekrotiske skader forringer frøskallens integritet, hvilket hæmmer vandoptagelse og kogning.



**Billede 3.** Overskårne ærter, hvor planten har været ramt af mangen-mangel i vækstsæsonen (Kilde 4)

### Mangan-manglens påvirkning på HTC-fænomenet

Manganmangel og HTC-fænomenet kan være relaterede gennem deres fælles virkning på cellevæggens struktur og frøskallens permeabilitet:

- **Mekanisme:** Mangan er vigtigt for syntese af pektin og lignin, der sikrer cellevæggens stabilitet. Mangel på mangan kan svække disse strukturer, hvilket gør frøene mere udsatte for kemiske og fysiske ændringer, der fører til HTC.
- **Hydreringsproblemer:** Frø med *Marsh Spot* absorberer vand dårligere på grund af beskadigede cotyledonet, hvilket øger risikoen for, at de opfører sig som non-soakers.

### Løsninger og forebyggelse af manganmangel

- **Jord- og plantebehandling:** Anvendelse af manganholdige gødninger, såsom mangan-sulfat, har vist sig at reducere forekomsten af *Marsh Spot* og forbedre frøenes kvalitet.
- **pH-justering:** Sænkning af jordens pH kan øge mangans tilgængelighed for planterne.
- **Overvågning af plantens næringsstatus:** Tidlig diagnose af manganmangel gennem bladprøver kan hjælpe med at implementere korrigerende tiltag.





## Betydningen af høsttidspunkt, tørring og lagring for HTC

Forebyggelse af HTC begynder med korrekt timing af høst og fortsætter gennem nøje kontrolleret tørring og opbevaring.

### Optimal høsttidspunkt

Ærternes modenhed på høsttidspunktet er afgørende for kvaliteten:

- **Modenhed og fugtindhold:** Ærter bør høstes, når fugtindholdet ligger mellem 15-18%. Et lavere fugtindhold kan føre til stive cellevægge, mens et højere fugtindhold kræver mere intensiv tørring, som kan skade frøene.
- **Tvangsmodning:** Undgå høst under perioder med ekstreme klimaforhold, som kan fremskynde modning og øge risikoen for HTC. Dvs. tørke kræver ekstra tidlig høst.

### Tørring

Efter høst er tørring en kritisk proces for at bevare frøenes kvalitet:

- **Temperaturkontrol:** Brug af kontrollerede temperaturer reducerer risikoen for skader. Ved vandindhold over 20% bør temperaturen ikke overstige 32°C, mens ærter med 14-17% fugt kan tørres ved op til 37°C.
- **Ensartet luftcirkulation:** God luftstrøm forhindrer fugtophobning og sikrer jævn tørring.
- **Langsom tørring:** For hurtig tørring kan skabe interne spændinger i frøet, hvilket øger risikoen for HTC.
- **Bemærk:** Hvis vandindholdet er ca. 15% ved høst på en varm, klar dag, kan frøene være 10-12°C varmere end omgivelsestemperaturen og kræver afkøling ved luftstrøm.

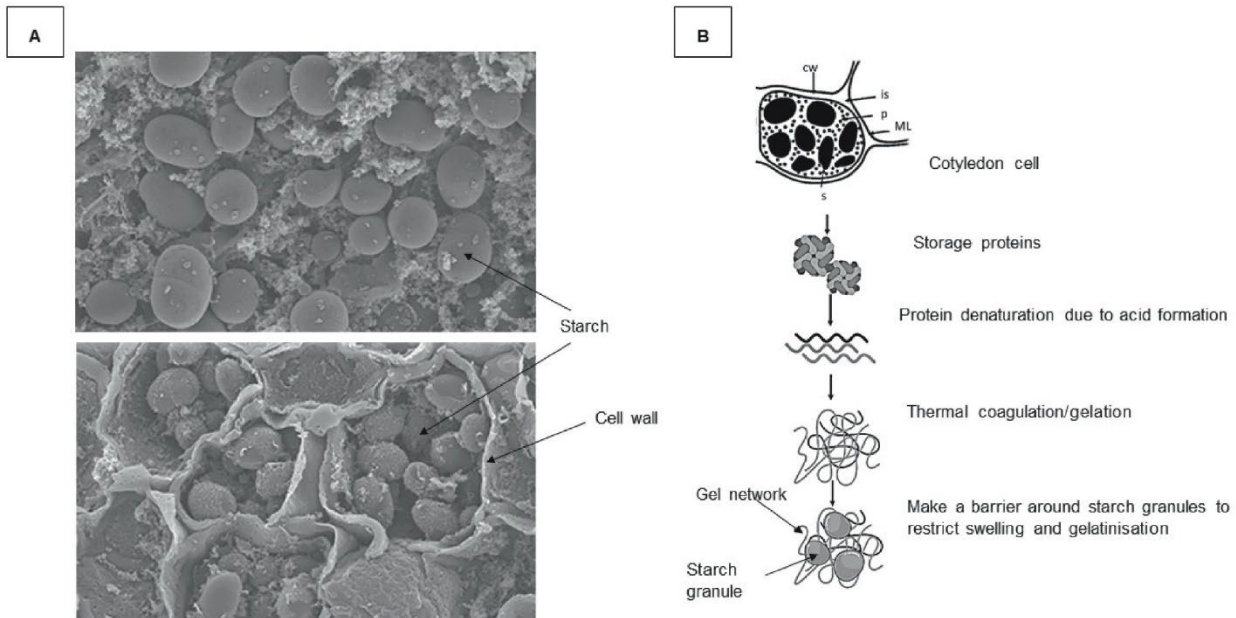
### Optimal lagring

Lagring under ideelle forhold forlænger frøenes holdbarhed og mindsker HTC:

- **Temperatur og fugtighed:** Ideelt bør frø opbevares ved temperaturer under 15°C og relativ luftfugtighed under 63%.
- **Overvågning:** Regelmæssig kontrol af lagringsforhold forhindrer ugunstige ændringer i frøenes struktur og sammensætning. Ved længere varende lagring og ved høje temperaturer sker der krydsbindinger mellem stivelsesmolekyler, der forhindrer korrekt opsvulmning under kogning.

Det er i dag muligt, via de nyeste teknikker inden for mikroskopi, at observerer de fysiske ændringer der sker på celle- eller vævsniveau i bælgfrugtfrøet, som følge af forkert lagring. Dette er vist i Fig. 2., hvor man tydeligt på de forstørrede billeder, kan se stivelses lejring i frøet – både når det er lagret korrekt og køligt, men også på det nederste billede i Fig. 2A se, at proteinnetværket ved lagring under for varme temperaturer over tid omdannes u hensigtsmæssigt og dermed bliver til HTC-ærter. På billedet fremstår de korrekt lagrede ærternes celledeling, som en meget ensartet og jævn tæt struktur, der giver let diffusion af vand, men den forkert

lagrede ært har en "rodet og hullet" struktur, hvor proteinet har samlet sig til en hård barrierer rundt om stivelseskornene. I Fig 2B ses det, at den rodede struktur skyldes en relatering af proteinet ved opvarmningen.



**Fig. 2.**

[A] Øverst: SEM-billeder af hvide bønner opbevaret ved 4 °C i 24 måneder. Nederst: Opbevaret ved 37 °C i 24 måneder, som viser "hard-to-cook"-fænomenet (Kilde 1);

[B] Ændringer i proteinstrukturer under opbevaring, der skaber et proteinnetværk omkring stivelseskornene.

## Fremtidig forebyggelse og behandling

Foruden hydrering findes der en række andre metoder til at forhindre og afhjælpe HTC:

- **Forædling:** Udvikling af sorter med lavere indhold af fytase og tyndere frøskaller kan reducere HTC-forekomsten.
- **Forbedrede lagringssystemer:** Implementering af avancerede opbevaringsteknologier med præcis kontrol over temperatur og fugtighed.
- **Termiske behandlinger:** Brug af trykkogere eller høje temperaturer til at gendanne frøenes blødgøringssevne.

## Sammenhæng mellem HTC og ernæringsmæssige tab

HTC har ikke kun fysiske konsekvenser, men også ernæringsmæssige implikationer. Når frøene ikke blødgøres korrekt, sker følgende:



### Reduceret biotilgængelighed af næringsstoffer:

- **Frøene kan indeholde antinæringsstoffer** som fytinsyre, der hæmmer absorptionen af mineraler som calcium, jern og zink. Hvis HTC forhindrer fuldstændig kogning, forbliver disse antinæringsstoffer intakte.
- **Lavere proteinfoerdøjelighed:** Krydsbindinger mellem proteiner reducerer deres fordøjelighed, hvilket mindsker den ernæringsmæssige værdi.
- **Nedsat tilgængelighed af stivelse:** Ikke-gelatineret stivelse absorberes dårligere, hvilket reducerer energiindtaget fra frøene.

## Afhjælpning og positive effekter af HTC gennem hydrering

Hvis skaden er sket, kan der heldigvis gøres visse tiltag for at afhjælpe problemet med bælgfrugter hvor der er opstået HTC. Hydrering er en af de mest effektive metoder til at afhjælpe HTC-fænomenet. Denne proces gendanner frøenes evne til at absorbere vand og blødgøre under kogning.

### Hvordan virker hydrering

Hydrering påvirker både biokemiske og fysiske egenskaber af frøene:

- **Nedbrydning af pektater:** Opblødning i varmt vand hjælper med at opløse calcium- og magnesiumpektater i cellevæggene, hvilket genskaber fleksibilitet og permeabilitet.
- **Enzymatisk aktivitet:** Vandoptagelse aktiverer enzymer, der nedbryder komplekse kulhydrater og proteiner i cellevæggene.
- **Stivelsesgelatinering:** Hydrering faciliterer gelatinering af stivelse, hvilket gør frøene blødere og lettere at koge.

### Metoder til hydrering

Hydreringsmetoder kan tilpasses afhængigt af skala og ressourcer:

- **Iblødsætning i varmt vand:** En simpel metode, der kræver temperaturkontrol for at sikre effektiv vandoptagelse.
- **Forbehandling med syrer eller salte:** Tilsætning af syrer som citronsyre eller salte som natriumbikarbonat til iblødsætningsvandet kan yderligere forbedre hydreringen.
- **Trykhydrering:** Anvendelse af tryk under hydrering sikrer en mere ensartet og hurtigere proces, selv for HTC-frø.

### Positive effekter af hydrering

Effektiv hydrering har mange fordele:

- **Reduceret kogetid:** Frøene bliver lettere at koge, hvilket reducerer energiforbruget og omkostningerne.
- **Forbedret tekstur og smag:** Hydrering giver en mere ensartet og attraktiv tekstur.
- **Bevaring af næringsstoffer:** Reduceret kogetid betyder færre tab af vandopløselige vitaminer og mineraler.



## Diskussion

HTC-fænomenet er et komplekst problem med flere underliggende årsager, hvilket kræver tværfaglig indsats for at identificere og implementere løsninger. På trods af manglende specifikke data om problemets omfang i Danmark, tyder erfaringer fra udlandet og lokale hændelser på, at problemet især forværres under ekstreme klimaforhold. Dette understreger behovet for tilpasning til klimaforandringer i landbruget.

Manganmangel fremhæves som en særlig udfordring i danske marker. Mårettede strategier, såsom forbedret jordbehandling og anvendelse af manganholdige gødninger, kan spille en central rolle i at minimere problemet.

Den økonomiske og miljømæssige betydning af HTC gør det yderst relevant for fremtidens fødevarerproduktion. Ved at reducere HTC kan bælgfrugternes rolle som bæredygtige proteinkilder styrkes, hvilket har potentiale til at fremme både fødevarerikkerhed og klimavenlig produktion globalt.

## Konklusion

HTC-fænomenet/Stenært er et komplekst problem, der skyldes en række biokemiske, strukturelle og kemiske processer. Det påvirker både kvaliteten og anvendeligheden af bælgfrugter og kræver en dyb forståelse af de underliggende mekanismer for at kunne afhjælpes effektivt. Gennem en kombination af rette høsttidspunkt, korrekt tørring og lagring hos landmanden, samt korrekt hydrering og på lang sigt genetisk forbedring i forædlingen af ærter kan HTC reduceres og dermed bidrage til bedre udnyttelse af bælgfrugter som en sund og bæredygtig fødekilde. Men der er ingen tvivl om, at især landmanden har stor indflydelse i forhold til at sikre dyrkningen med nok vand til ærten i dyrkningssæsonen, så den ikke bliver tørkestresset. Herefter er det valg af høsttidspunkt og tørring lagring, der er de mest afgørende faktorer i forhold til at undgå hovedparten af stenært/HTC. Men i somre med tørke eller meget uens blomstring kan den del være vanskelig at gøre noget ved, medmindre man har vanding. Men valg af ensartede arealer, med ens vandforsyning, burde give en mere ens afmodning og tørring af ærten frem mod høst, og dermed forberede mulighed for optimalt valg af høsttidspunkt.

Praktikken i forhold til tørring og lagring kræver godt kendskab til sit tørringsudstyr og lagringspladsen i forhold til beluftning, korrekte temperaturer ved køling, tørring og lagring, samt jævnlige tilsyn de første 14 dage af lagringen, samt efterfølgende tilsyn en gang om ugen. Bemærk at dårlig jordstruktur også sættes i forbindelse med udvikling af stenært, da planten stresses. Det bør man tænke på, ved etablering af såbed – både at få etableret et optimalt såbed, men også at afvente at jorden er tjenlig til jordbearbejdning, og der ikke i vejrusigten, er optakt til store nedbørsmængder efter såningen.

Selvom HTC stadig ikke er fuldt belyst, viser nyere forskning, at en helhedsorienteret indsats kan reducere problemet markant og forbedre ærternes anvendelighed og næringsværdi.



## Bilag 1: Fysiske og biokemiske ændringer ved HTC-fænomenet

### 1. Pektin-kation-fytat-interaktion:

- Pektin, en vigtig bestanddel af cellevæggene, findes som en matrix af polysaccharider, der giver struktur og styrke.
- Ved HTC bindes calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) og magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) til pektin og danner uopløselige calcium- og magnesiumpektater. Disse pektater gør cellevæggene stive og uigennemtrængelige for vand, hvilket forhindrer blødgøring under kogning.
- Denne proces forstærkes under længerevarende opbevaring ved høj temperatur og fugtighed, som fremmer enzymatisk aktivitet (f.eks. fytase), der frigiver fosfater og gør kationerne mere tilgængelige for binding.

### 2. Proteinkrydsbindinger:

- Proteiner i cellevæggene, særligt faseolin, krydsbinder under ugunstige forhold. Disse bindinger reducerer cellevæggens fleksibilitet og vandpermeabilitet.
- Proteinernes tredimensionelle struktur ændres gennem denaturering og oxidering, hvilket gør dem mindre reaktive over for vand.

### 3. Cellevægsmatrixens stivhed:

- Over tid bliver cellevæggens polysaccharidmatrix tættere og mere sammenflettet. Dette fænomen reducerer diffusionen af vand gennem cellevæggen og forhindrer effektiv hydrering.

## Biokemiske og kemiske ændringer under lagring

Langvarig lagring under ugunstige forhold fremmer biokemiske reaktioner, der gør HTC irreversible. Centrale processer inkluderer:

### 1. Fytase-aktivitet:

- Fytase er et enzym, der frigiver fosfatgrupper fra fytinsyre under opbevaring. Fytinsyre er en naturlig forbindelse, der binder mineraler som calcium og magnesium i frøene.
- Når fosfater frigives, bliver calcium og magnesium mere tilgængelige for binding til pektin i cellevæggen, hvilket øger dannelsen af uopløselige pektater.

### 2. Lipoxidation:

- Oxidation af lipider i frøene resulterer i produktion af reaktive oxygenforbindelser, der kan skade cellevæggens struktur og fremme dannelsen af stive bindinger.

### 3. Polyfenol-oxidation:

- Polyfenoler, som findes i frøenes skaller, kan reagere med proteiner og danne komplekser, der yderligere reducerer cellevæggens permeabilitet.



#### 4. Stivelsesændringer:

- Frøenes stivelse bliver mindre gelatiniserbar som følge af lagring. Dette skyldes krydsbindinger mellem stivelsesmolekyler, der forhindrer korrekt opsvulmning under kogning.

### Kilder til HTC og Hard-shell fænomenerne

1. Hard-to-cook phenomenon in common legumes: Chemistry, mechanisms and utilisation  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814623003606>
2. Enhancing the hydration process of common beans by ultrasound and high temperatures: Impact on cooking and thermodynamic properties  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026087741830027X?via%3Dihub>
3. Cookability of 24 pea accessions — determining factors and potential predictors of cooking quality  
<https://pub.epsilon.slu.se/33254/1/duholm-b-et-al-20240327.pdf>

### Kilder til afsnittet om mangan-mangels effekt på ærter

4. Details of the main pests and diseases in peas and with a photo section with reference images  
<https://www.pgro.org/pests-and-diseases/>
- **Control of manganese deficiency in field peas grown for seed or human consumption** – Denne kilde giver detaljer om symptomerne på manganmangel, herunder specifikke visuelle tegn som interveinal klorose og "Marsh Spot", samt hvordan manganmangel påvirker både plantens vækst og frøenes kvalitet  
<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/control-of-manganese-deficiency-in-field-peas-grown-for-seed-or-human-consumption/B80733F35E5CA3C3528D84E9E64B4CE6>
  - **Marsh spot of peas: a manganese deficiency disease** Denne artikel forklarer, hvordan manganmangel kan føre til *Marsh Spot* på ærtefrø og de fysiske ændringer, der opstår som følge af manglen  
<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/marsh-spot-of-peas-a-manganese-deficiency-disease/65E6639B437842B61F718C561E02FA3B>