

Fugt i konstruktioner

Med fokus på grønlandske forhold

Eva B. Møller, professor, DTU

Hvad omhandler indlægget?

- Hvad er fugt
- Hvordan flyttes fugt
- Hvad er problemet med fugt
- Hvor ser vi fugt
- Hvordan kan man forebygge fugt

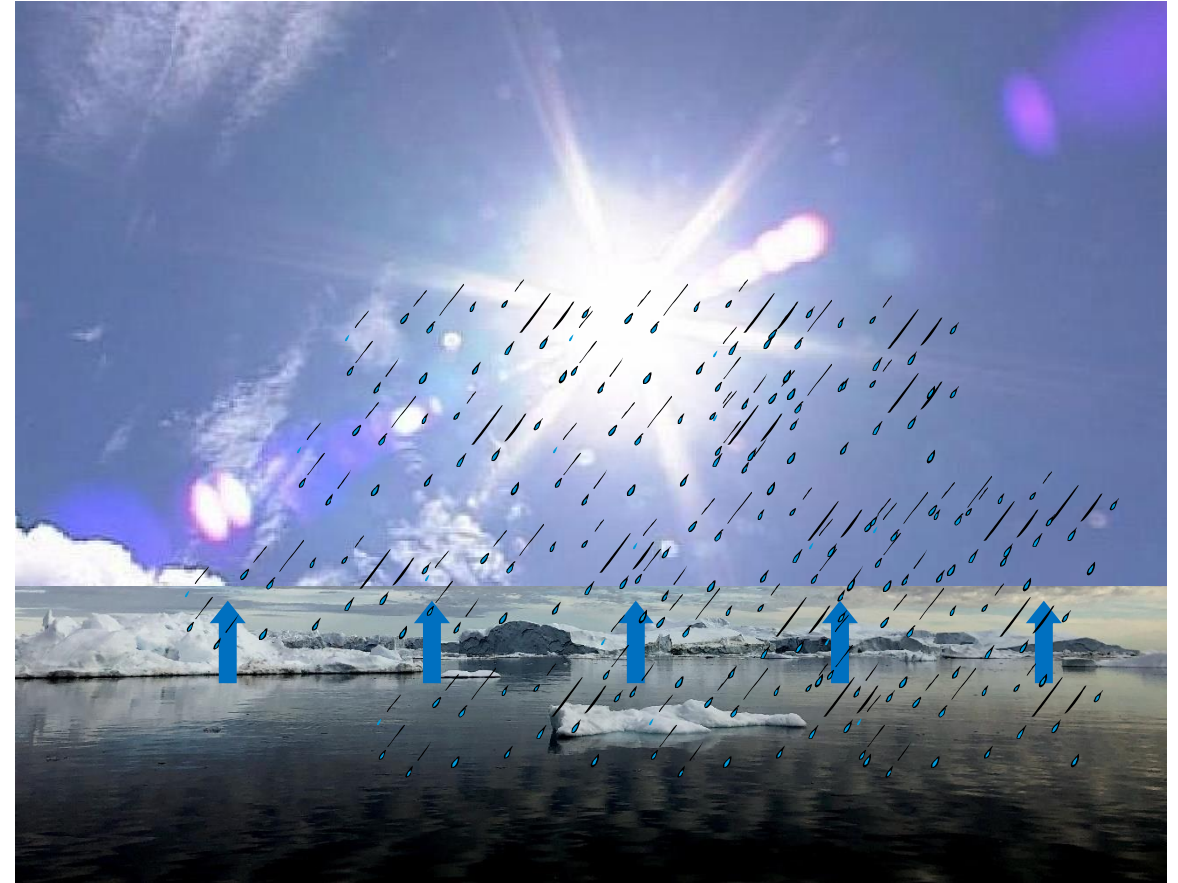


Hvad er fugt

Hvor kommer vandet fra?

Globalt:

- Solen skinner på havet, isen, søer, fugtig jord osv.
- Fordampning
- Fugtig luft afkøles når den stiger op og der dannes skyer
- Nedbør (sne og regn)

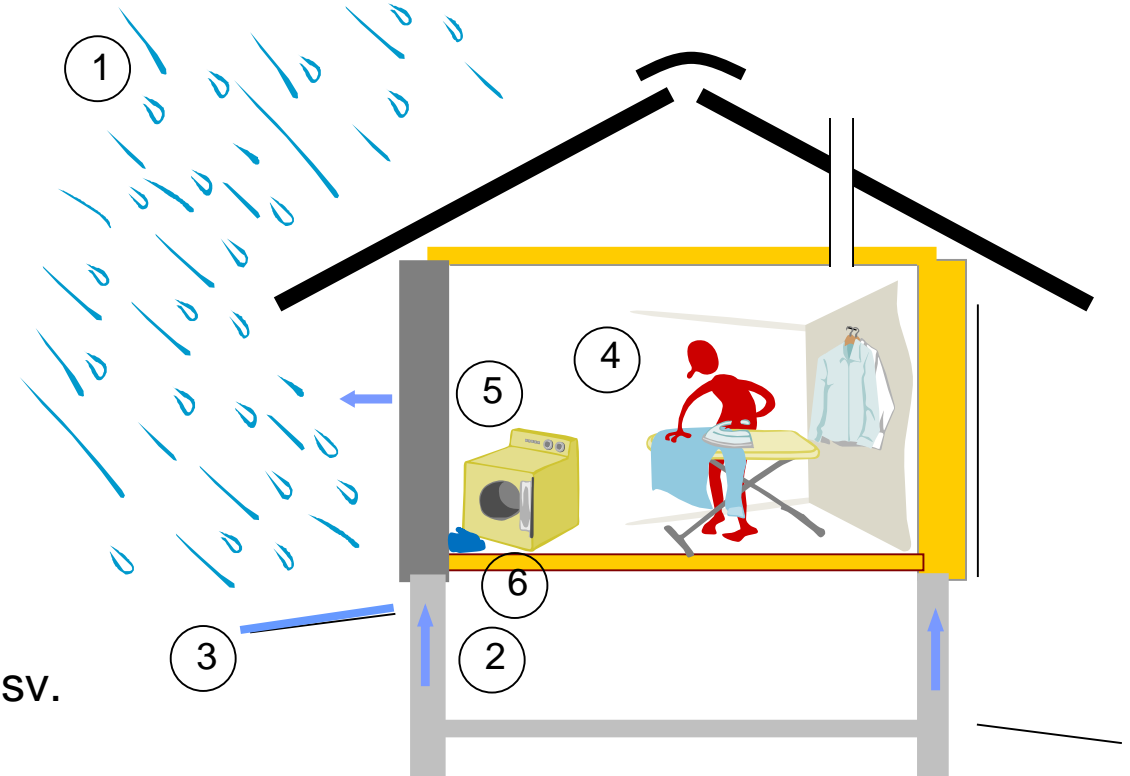


Hvad er fugt

Hvor kommer vandet fra?

Lokalt:

- Udefra
 1. Nedbør
 2. (Grundfugt)
 3. Overfladevand
- Indefra
 4. Intern fugtproduktion f.eks. madlavning, bad, tøjtørring, sved, udånding, planter osv.
 5. Byggefugt
 6. Utætheder



Fugt kan forekomme i tre faser

1. Fast form: Is og sne
2. Flydende form: Vand
3. Gasform: Vanddamp



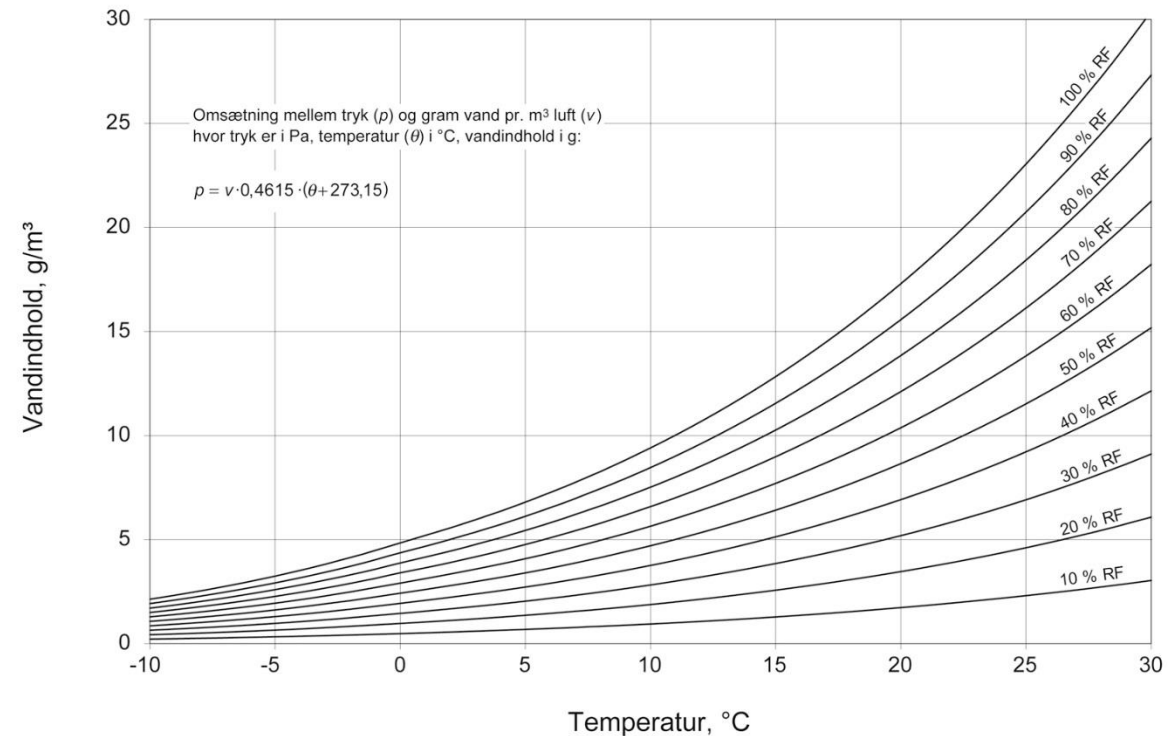
Vand i luft

Luft kan indeholde fugt på lige fod med andre gasarter

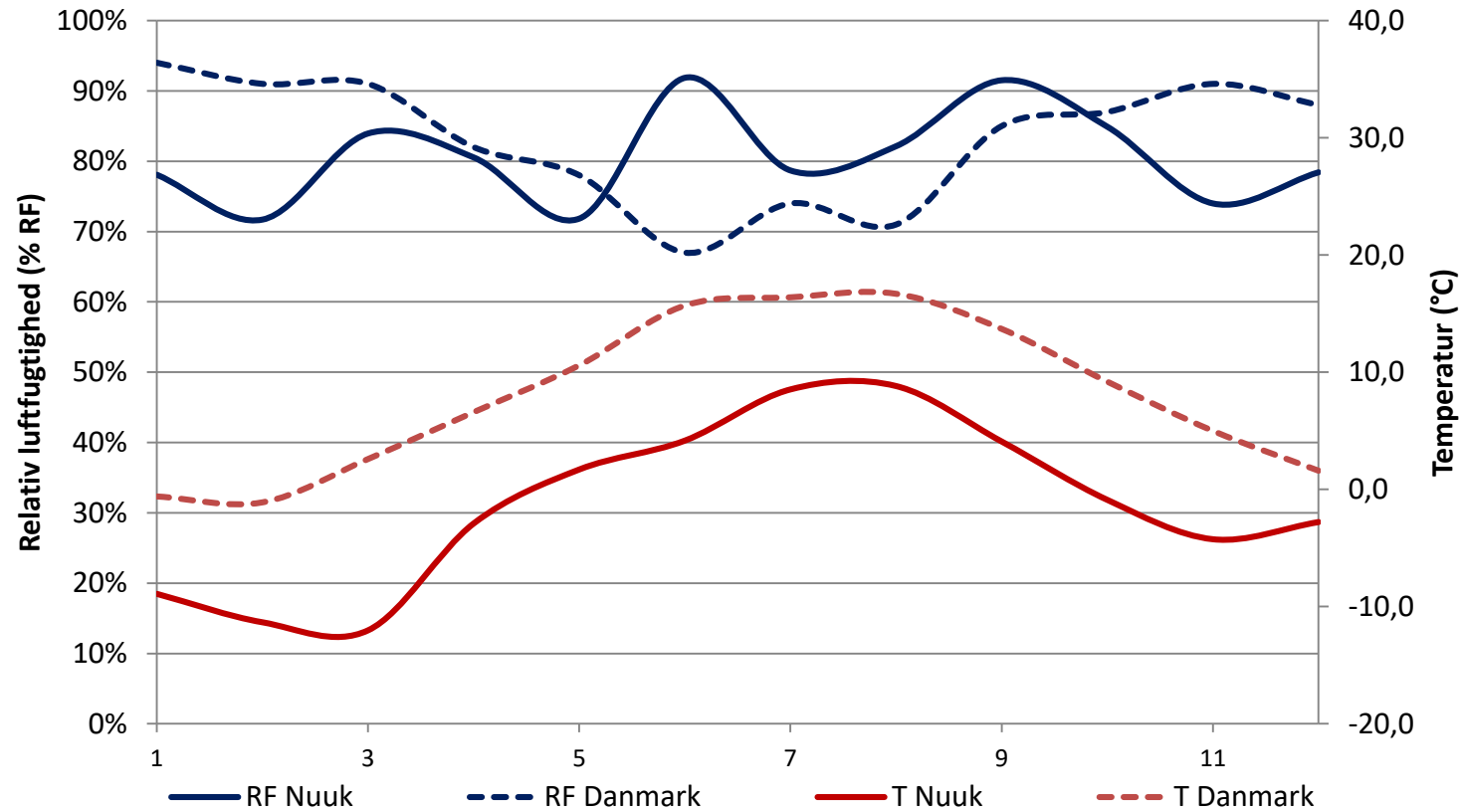
- Varm luft kan indeholde mere fugt end kold luft

- Sammenhæng mellem:
- Temperatur θ (°C)
- Vandindhold v (g/m³)
- Damptryk p (Pa):

Vanddampdiagram



Hvordan er forholdene ude

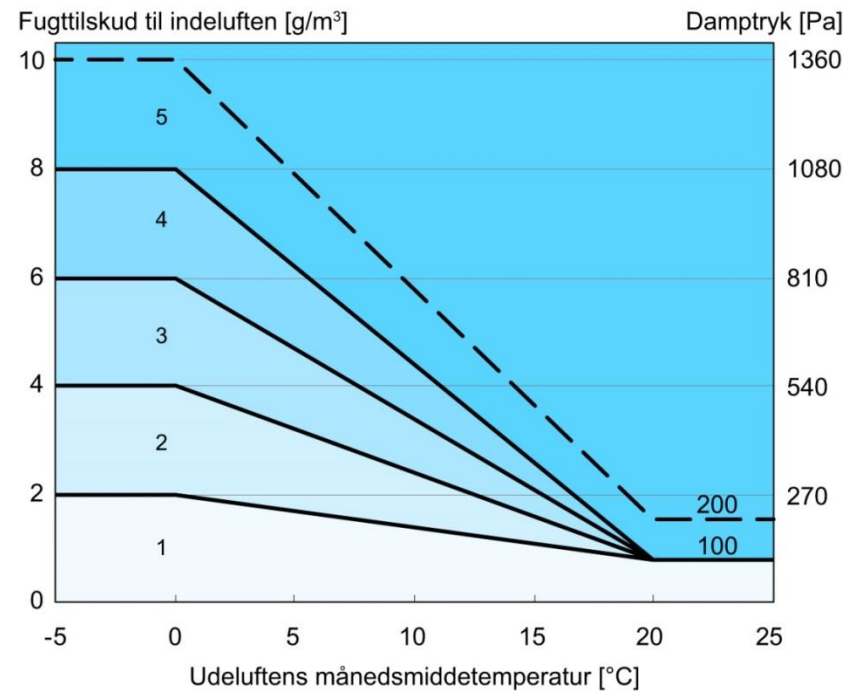


Fugtbelastningsklasser

Fugtforhold:

- Fugttilskud til indeluften
- Bortventilering

Anvendelsen



Fugtbelastning

Fra forskellige kilder i en husholdning på to voksne og to børn:

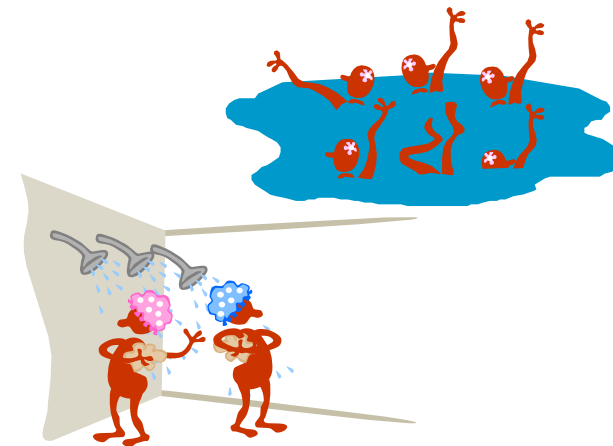
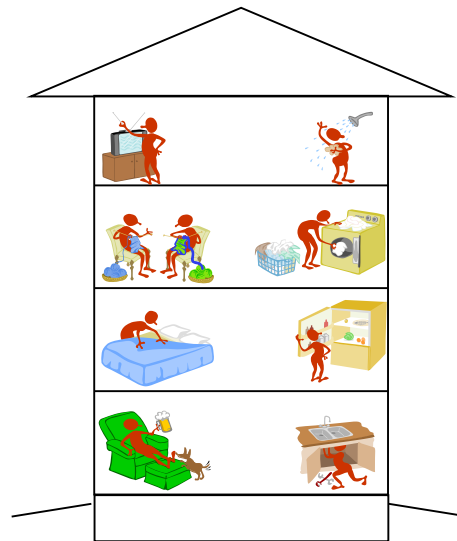
Mennesker (ånding og sved)	3,5 kg/dag
Tøjtørring (ophængt indendørs)	1,8 kg/dag
Personlig hygiejne	1,3 kg/dag
Madlavning	0,9 kg/dag
Opvask	0,4 kg/dag
Rengøring af bolig	0,2 kg/dag
Planter	0,2 kg/dag
Diverse	0,2 kg/dag
Totalt	8,5 kg/dag



Eksempler på fugtbelastningsklasser

Fugtbelastningsklasse

- | | |
|---|---|
| 1 | Ubenyttede bygninger, tørre lagerhaller, idrætshaller uden tilskuere, industribygninger uden fugtproduktion |
|---|---|



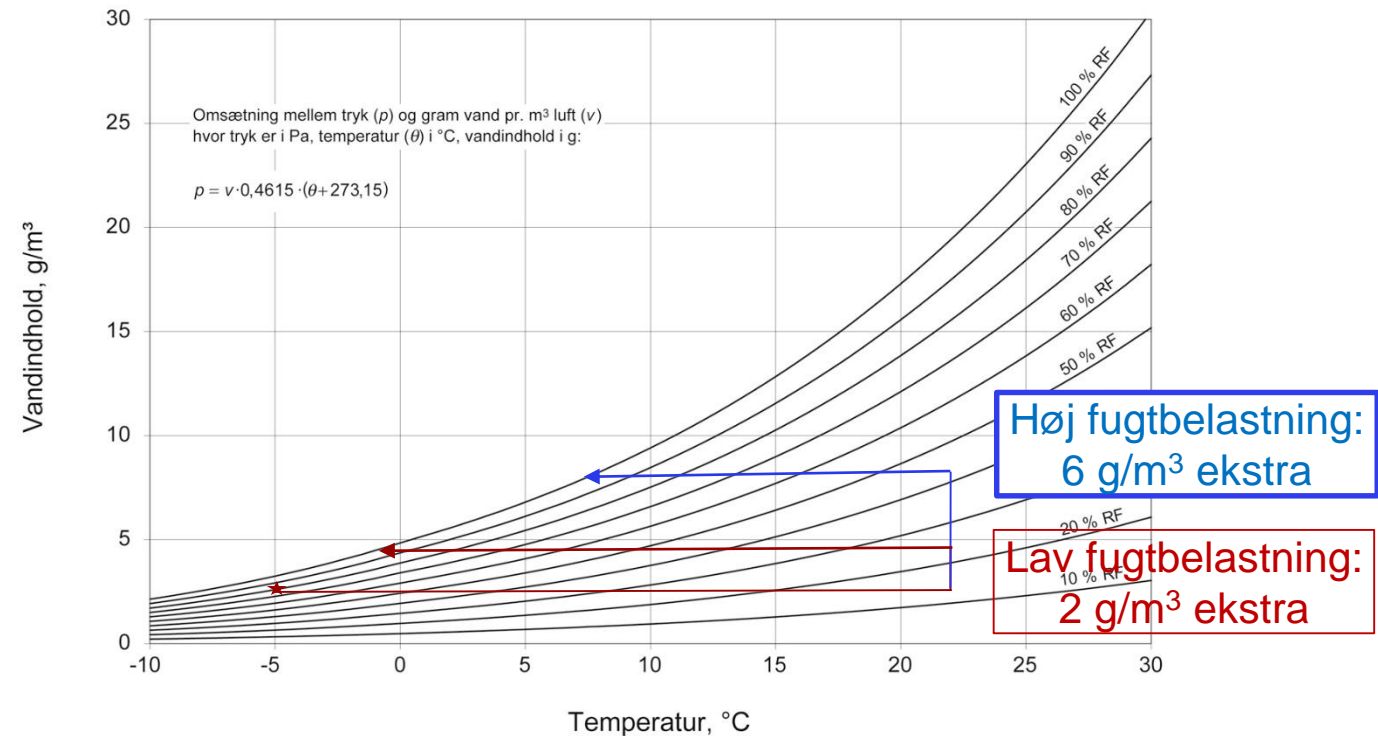
Vand i luft

Luft kan indeholde fugt på lige fod med andre gasarter

- Varm luft kan indeholde mere fugt end kold luft

- Sammenhæng mellem:
- Temperatur θ (°C)
- Vandindhold v (g/m³)
- Damptryk p (Pa):

Vanddampdiagram



Fugt i et ventileret hus

Luftens fugtindhold indendørs v_i :

$$v_i = v_u + \frac{G}{nV} (1 - e^{-nt}) \approx v_i = v_u + \frac{G}{nV}$$

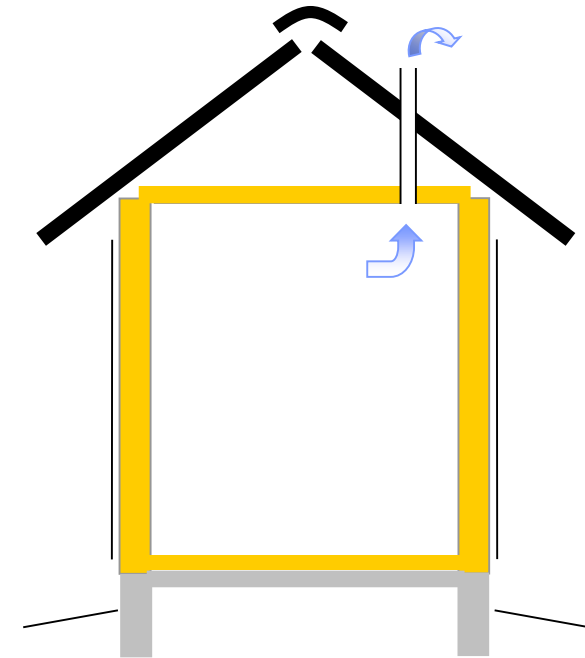
Fugtilskuddet



G = Fugtproduktionen [g/h]

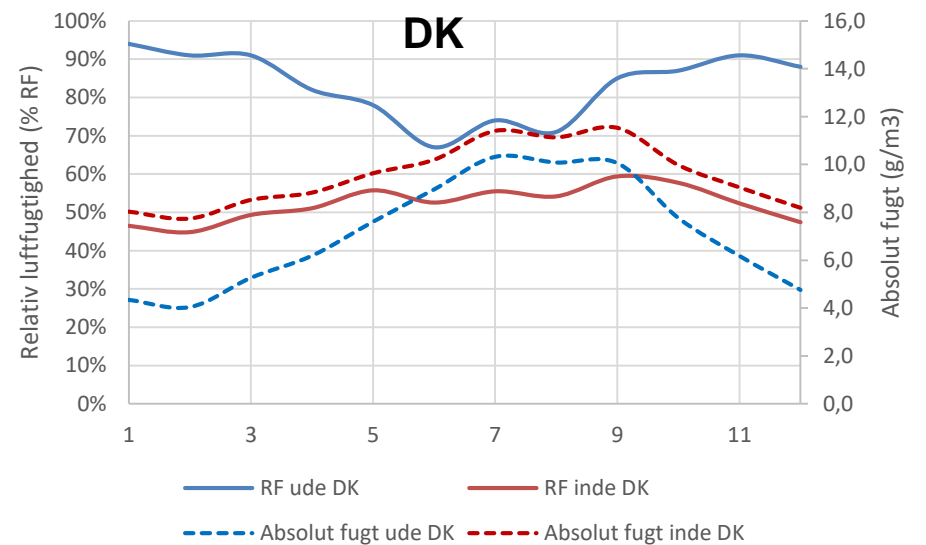
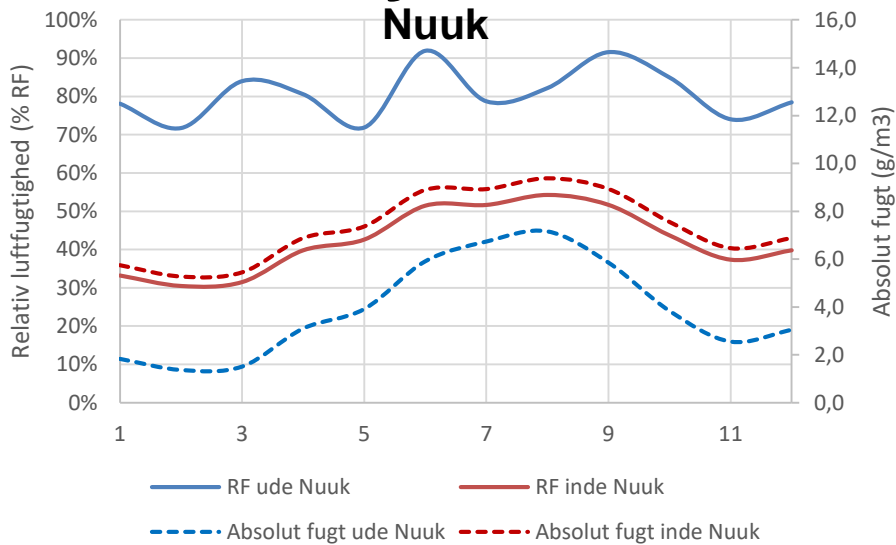
n = Luftsiftet [h⁻¹]

V = Husets volumen [m³]

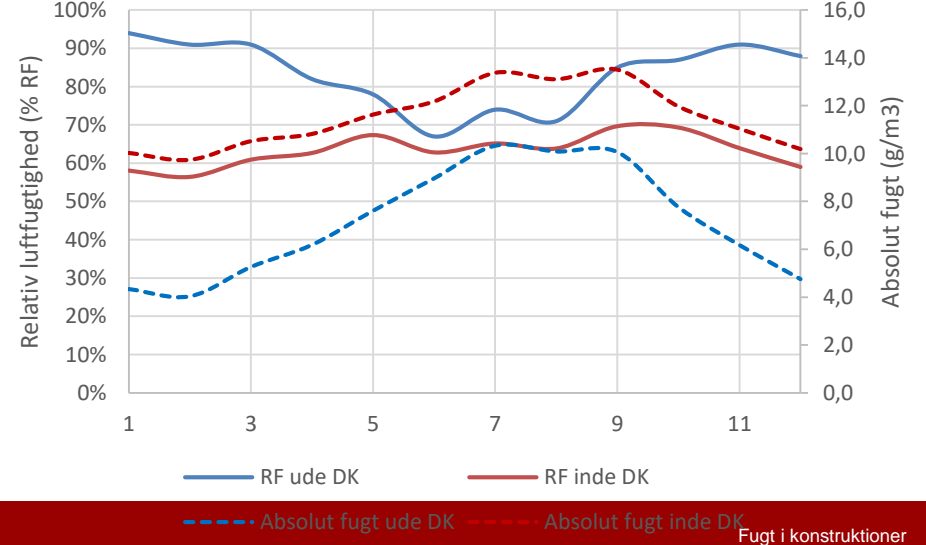
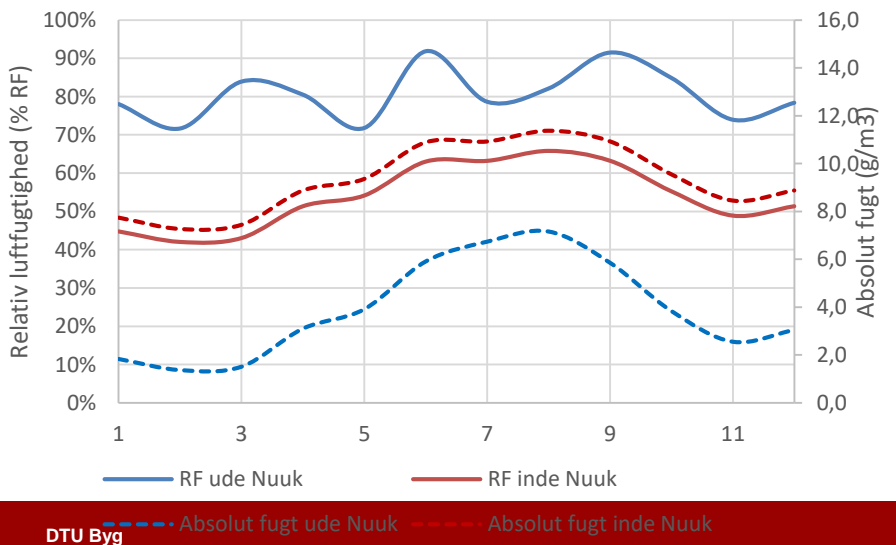


Fugtbelastningsklasse 2

Hvad betyder det for indeforholdene



Fugtbelastningsklasse 3



Fugt i materialer

- Fugtige materialer kan tørre i tør luft
- Tørre materialer opfugtes i fugtig luft



Fugt i materialer

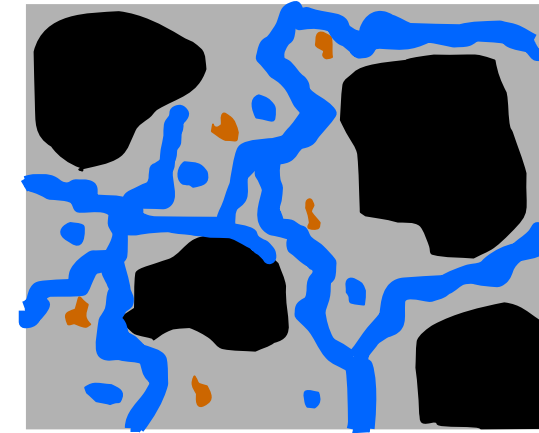
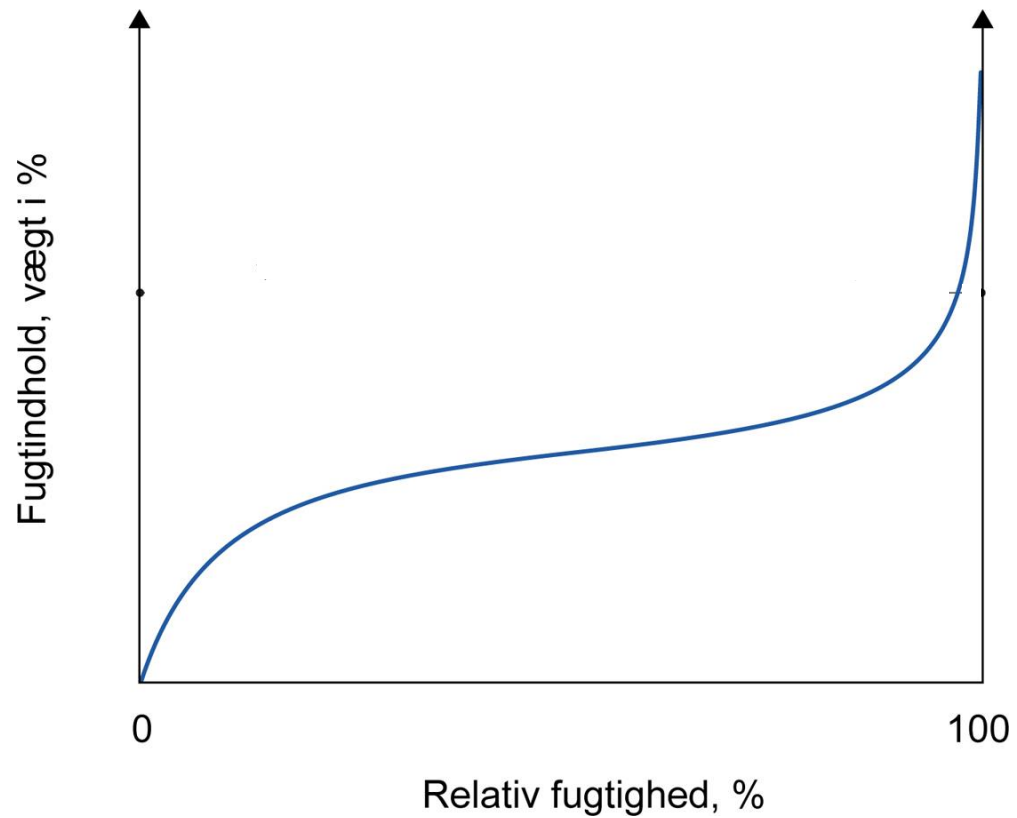
- Hvordan og hvor meget fugt bindes er afhængigt af materialestrukturen:

<p>Ingen porer</p>	<p>Lukkede porer</p>	<p>Kanalsystem af åbne porer</p>	<p>Diskontinuert materiale</p>
<p>Glas, metal</p>	<p>Celleplast</p>	<p>Beton, tegl, træ</p>	<p>Grus, fibre</p>

Hygroskopiske, udveksler fugt med luften

Fugt fra luft til materialer

- Sorptionskurver



Kapillært område

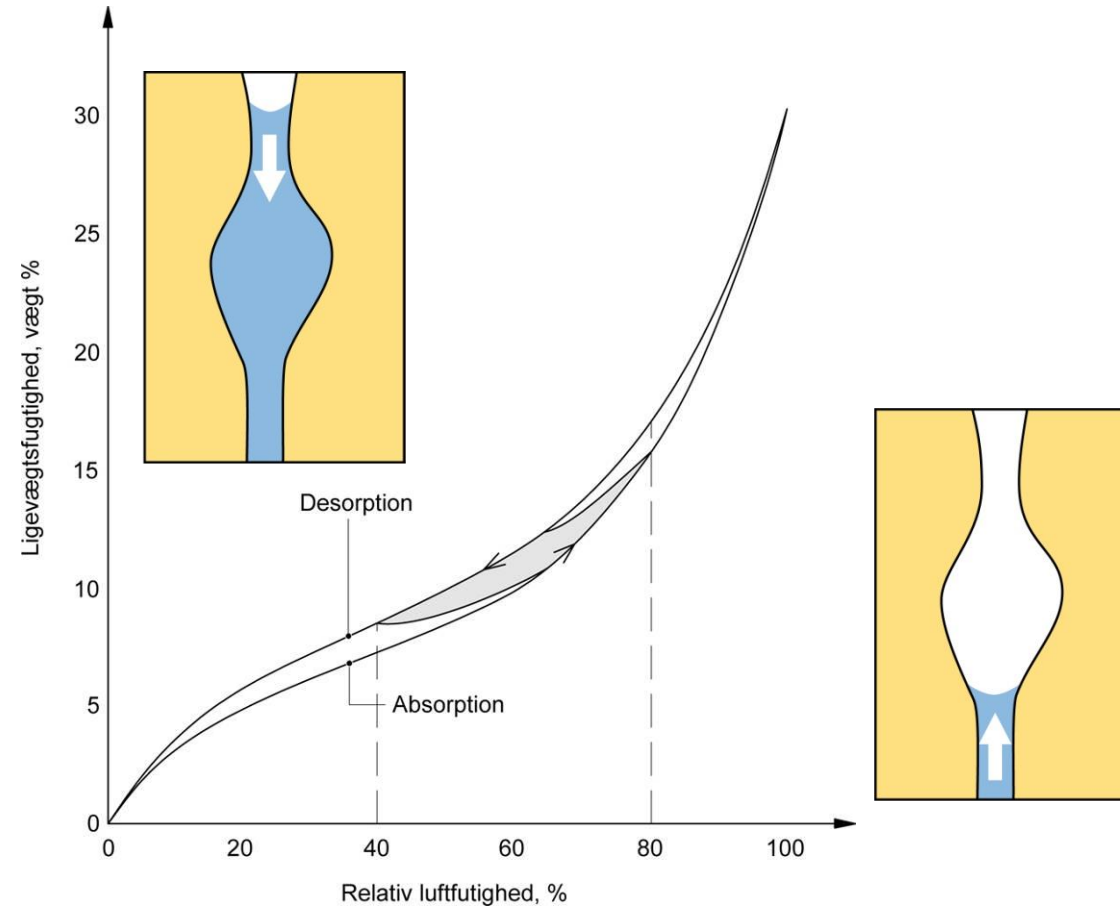
Fugt optages ved sugning, vandtryk, kondensation eller byggefugt

Hygroskopisk område

Fugt optages fra luften

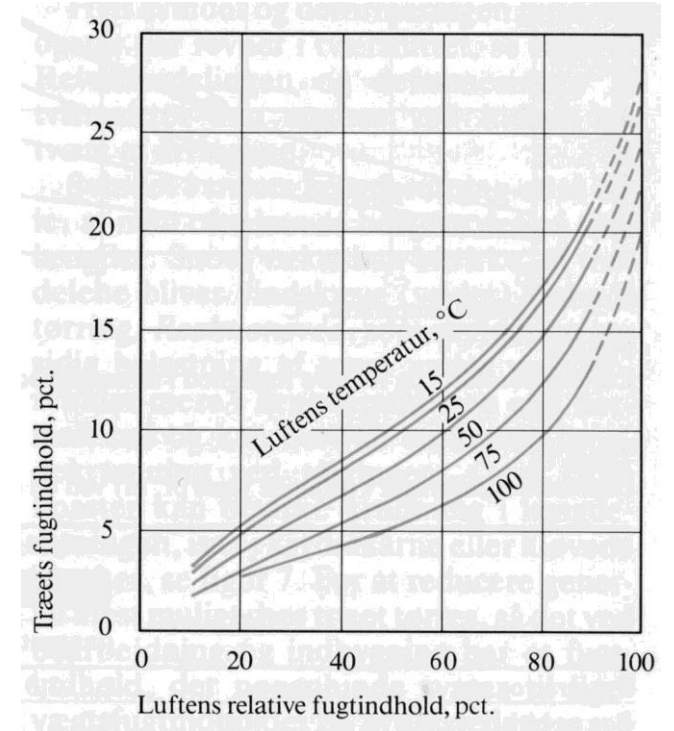
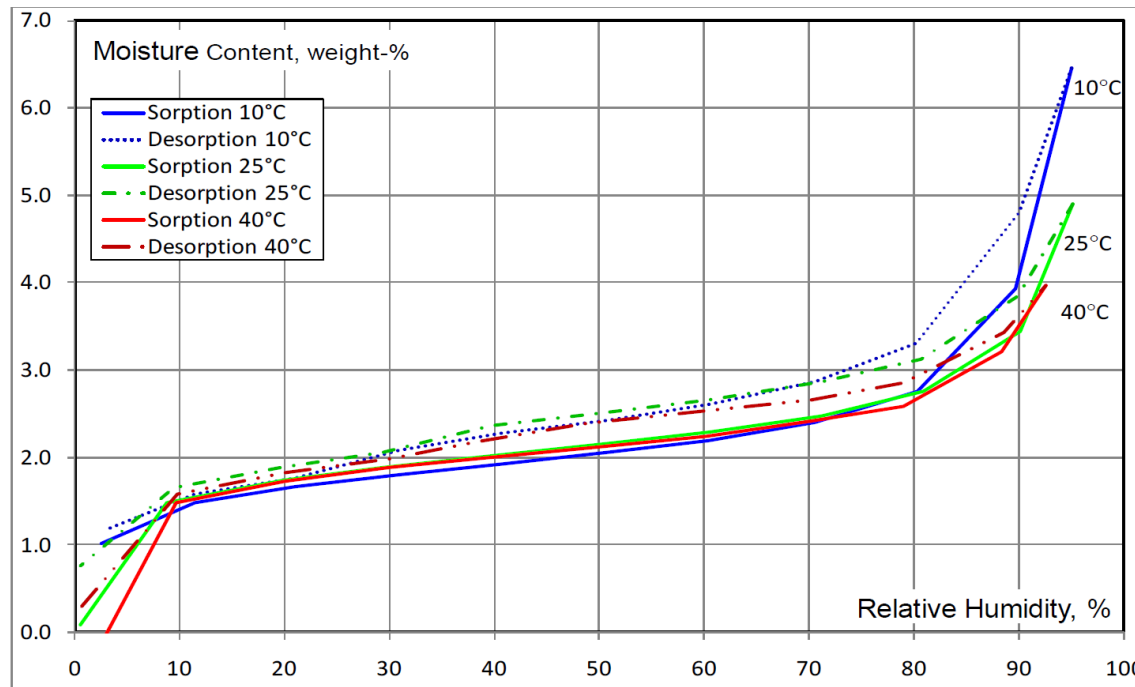
Fugt i materialer

- Fugt fra materialer til luft – fra luft til materialer



Betydning af temperatur for sorption

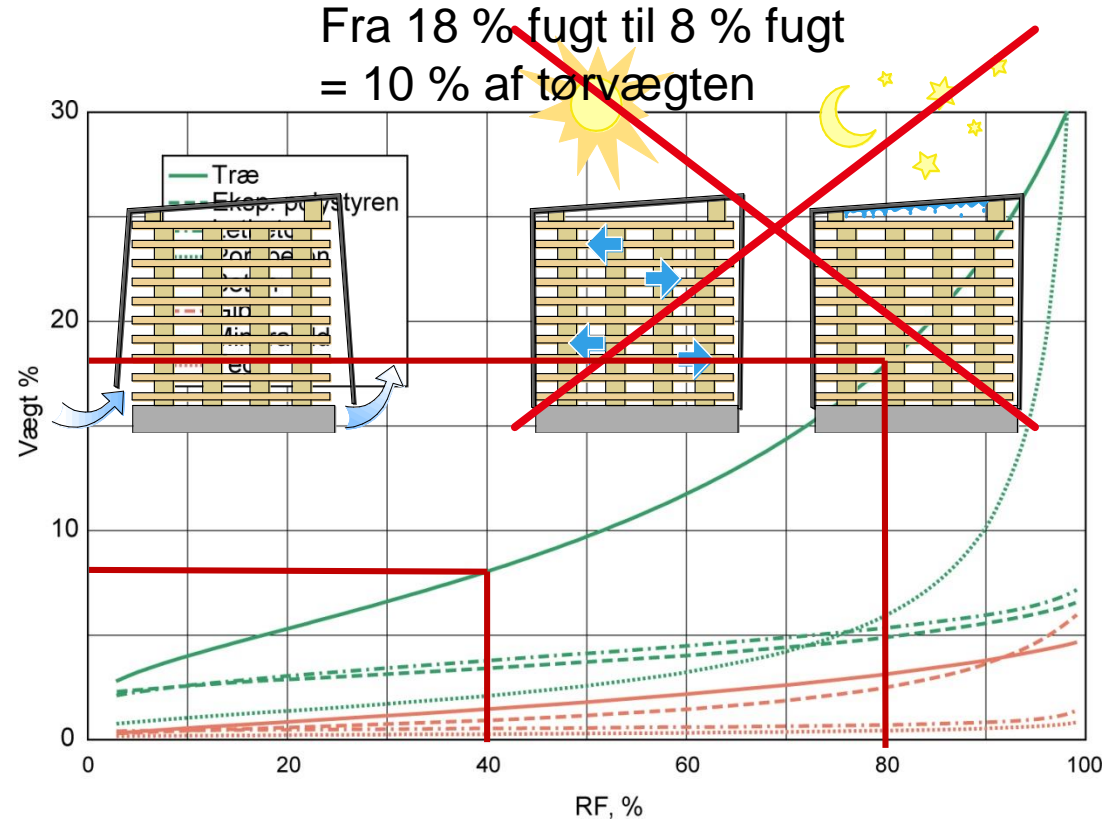
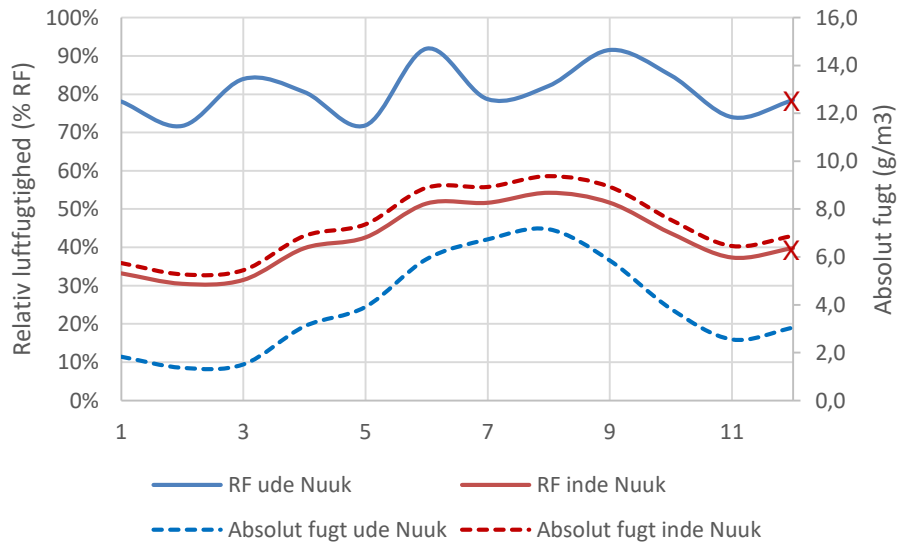
- For træ
- For letbeton



Men man regner sjældent med nogen temperatureffekt

Fugtligevægt

Eksempel:
Træ lagret ude om vinteren
til indbygning i enfamiliehus i Nuuk

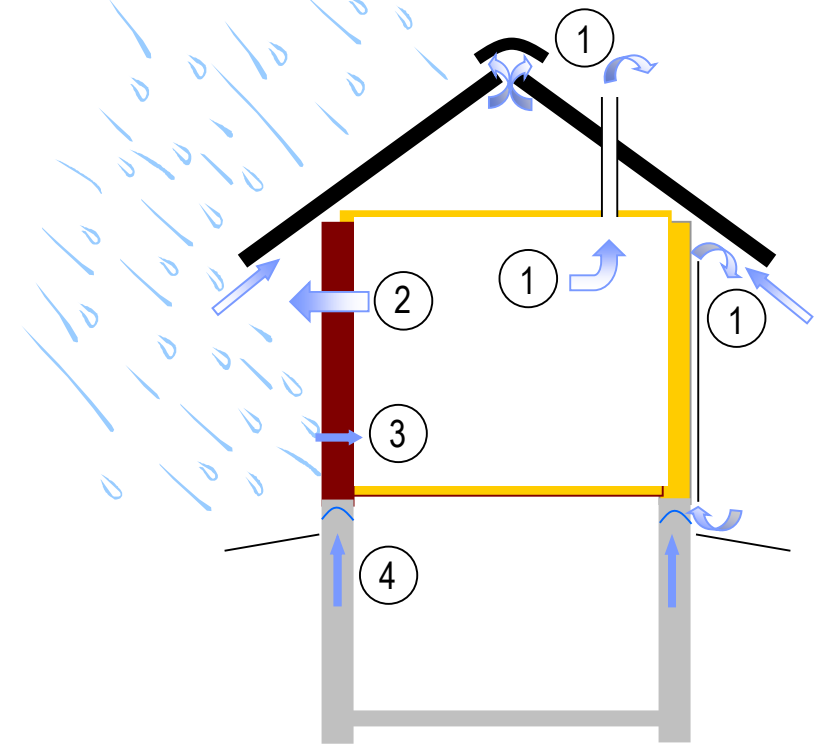


Flere sorptionskurver på:

http://www.byg.dtu.dk/~media/Institutter/Byg/publikationer/lbm/lbm_162.ashx

Fugttransportformer

1. Konvektion
 - Fugt der flyttes med luft
2. Diffusion
 - Fugt der flytter sig gennem materialer ved molekylebevægelser
3. Under tryk fx slagregn
4. Kapillartransport
 - Fugt der suges i materialer
5. Termodiffusion og effusion
6. Elektroosmose



Fugttransportformer

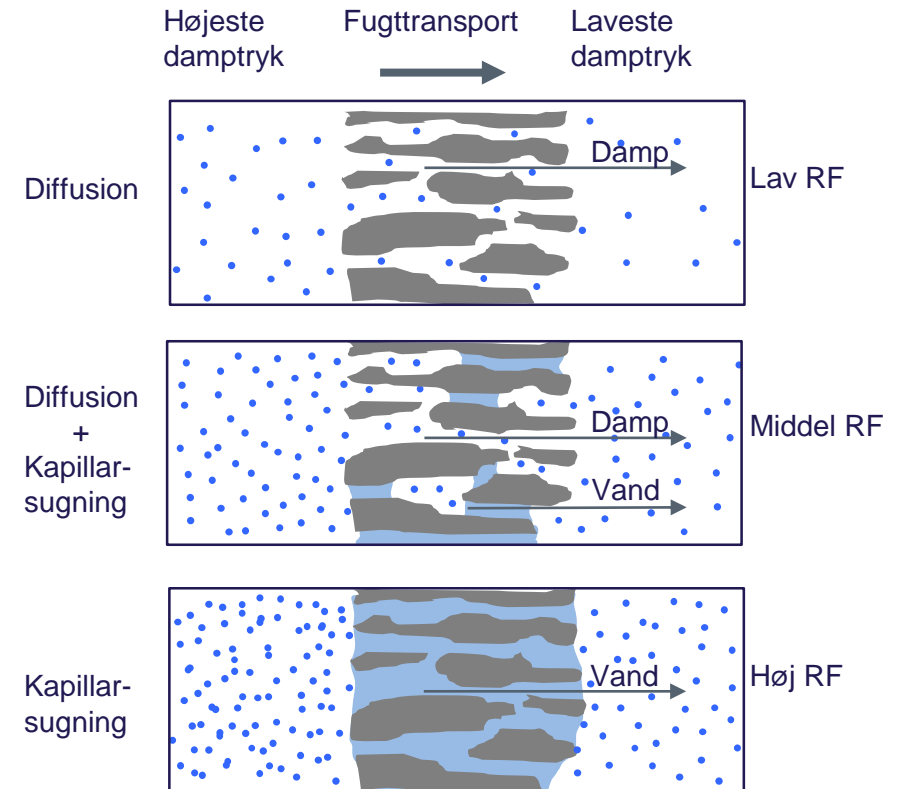
Transporten sker mod at udligne forskelle

Drivkraften kan fx være:

- Vanddamptryk
- Vanddampindhold
- Vandtryk

Transporten kan ske på:

- Væskeform
- Dampform



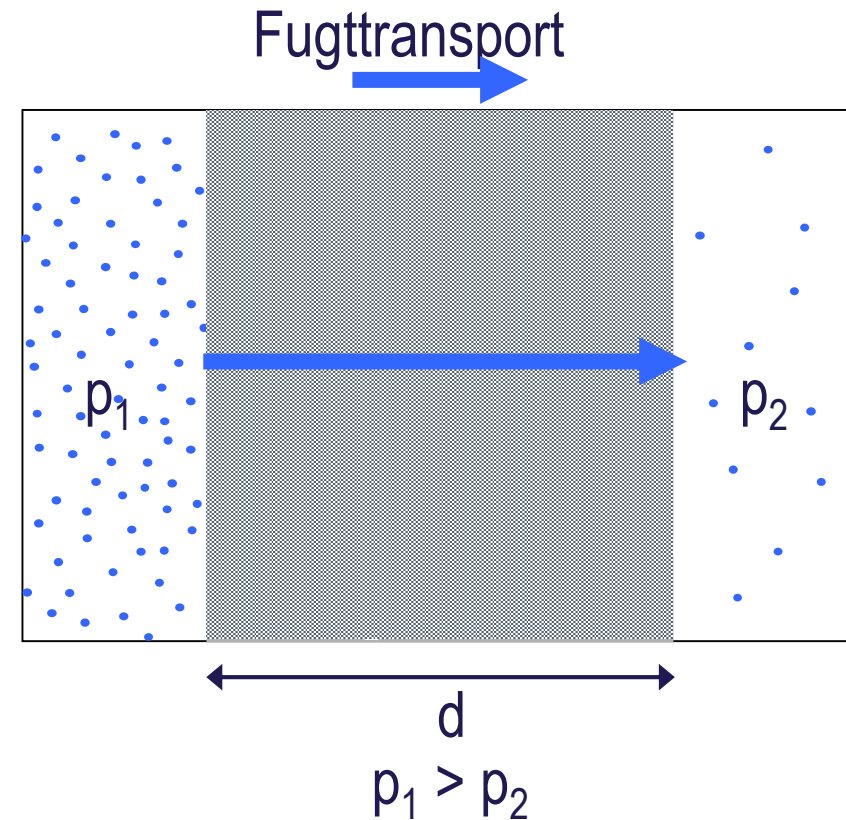
Diffusion bestemmes af materialekonstant

- Drivkraft enten vanddampindhold v eller vanddamtryk p
- Fick's lov:

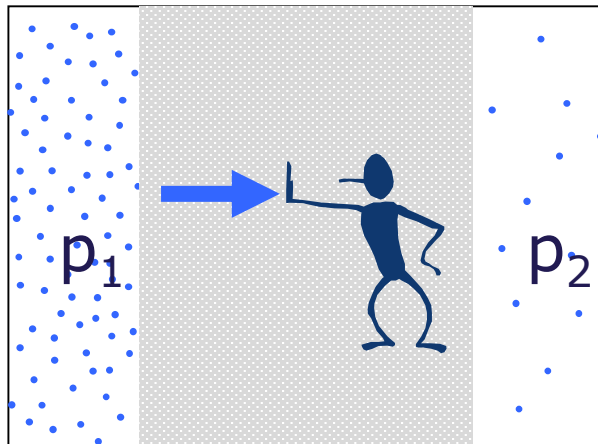
$$g = -\delta \cdot \frac{\Delta p}{d}$$

g = dampstrømstæthed

δ = vanddamppermeabiliteten



Eksempler på diffusionsmodstande



Gammel betegnelse PAM-værdi svarer til
2 x Z-værdi

	Z-værdi $\text{GPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s} / \text{kg}$
200 mm mineraluld	1
200 mm cellulose	2
100 mm porebeton	1,5
13 mm gipsplade	0,5
108 mm tegl	5,4
20 mm spånplade	3,9
100 mm beton	50
plastmaling	2,5
linoleum	25
PE-folie	250

Forskelle mellem 3 hovedtransportformer

Diffusion

- På gasform
- Sker ved molekylebevægelser gennem et materiale
- Sker også ved lavt fugtindhold
- Afhænger af et materiales Z-værdi
- Går langsomt

Kapillarsugning

- På væskeform
- Mængde og hastighed afhænger af materialets porestruktur
- Kan stoppes med tætte eller grovporøse materialer



Konvektion: Flytte vanddamp med luften

Hvad er problemet med fugt?

Nedbrydning af materialer

- Svamp
- Korrosion
- Frost
- Salte
- Byggefugt (deformationer)
- (Alger)



Hvad er problemet med fugt?

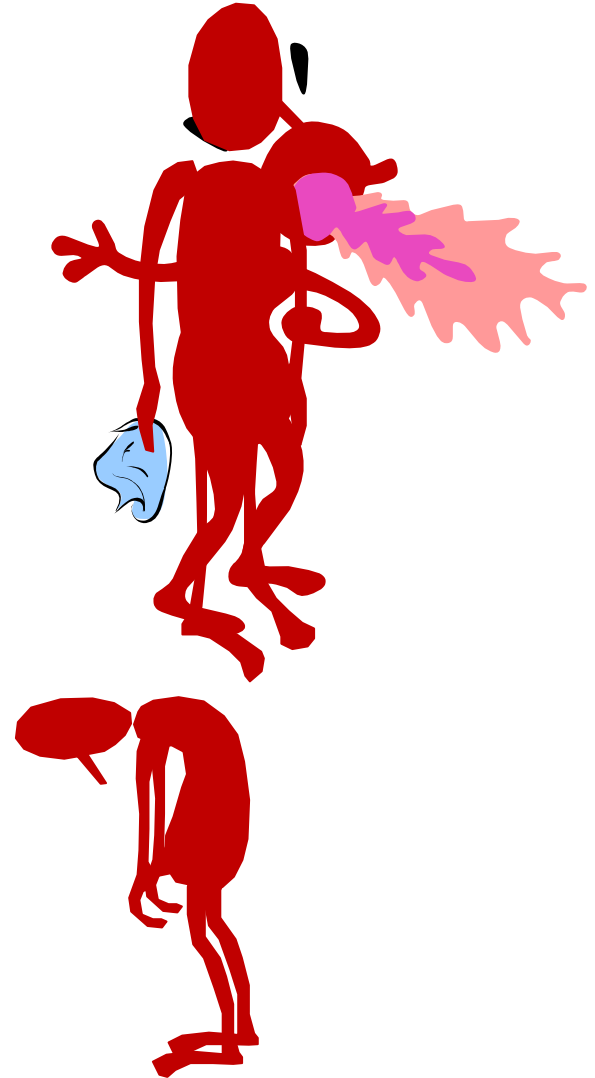
Indeklimaproblemer

- Fugt er usundt
- Skimmel er sandsynligvis usundt



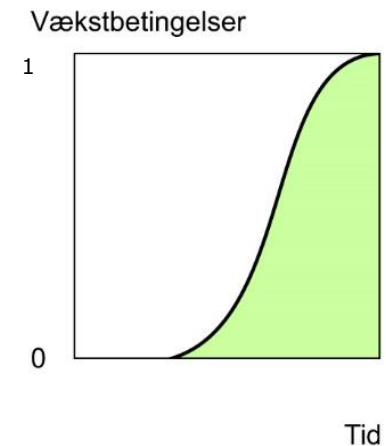
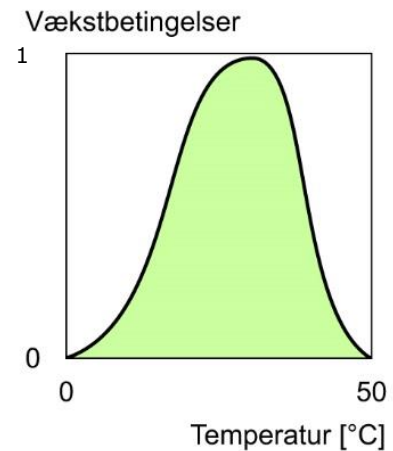
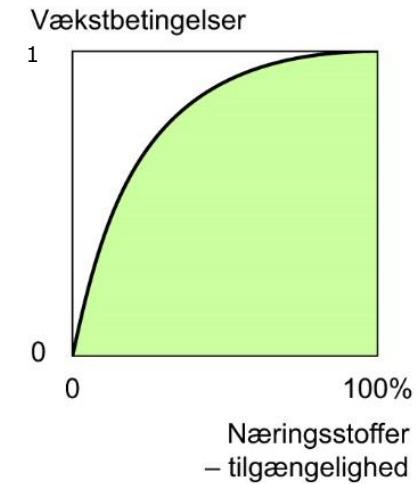
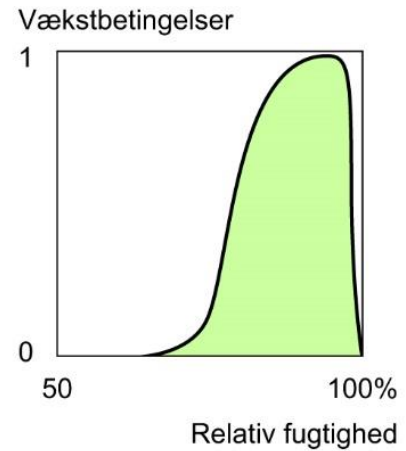
Hvad er problemet med skimmel?

- Allergi i luftveje
 - Astma
 - Høfeber
- Slimhindeirritation
 - Øjenirritation
 - Pibende og hvæsende vejrtrækning, hoste
- Hovedpine
- Koncentrationsbesvær
- Svimmelhed



Skimmel vokser hvis de rigtige forhold er der

- Fugt
- Næring
- Temperatur
- Tid
- (pH)



Hvor kommer fugtproblemerne?

- Hvor vand og sne kan trænge ind
 - Vand og sne bevæger sig ikke altid nedad
 - Sne og is bliver til vand når det tør
 - Krybekældre kan blive meget våde

- Hvor varm fugtig luft møder en kold flade
 - Kuldebroer
 - Utætheder

- Hvor der er indbygget fugt
 - Våde byggeprocesser
 - U hensigtsmæssig lagring
 - Udsættelse for vejrlig



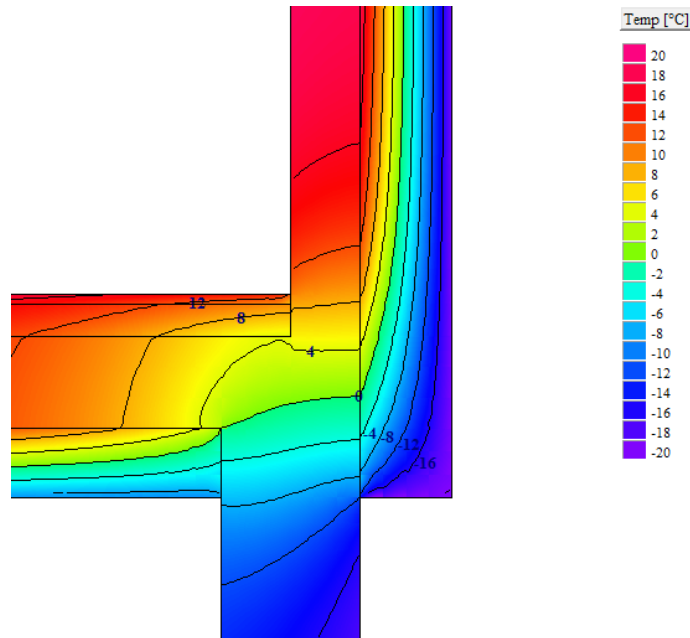
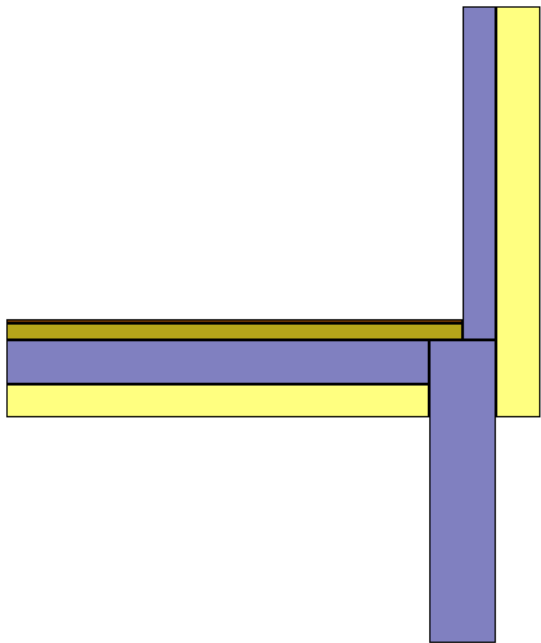
Vandtransport

Damptransport

Byggepladsen

Eksempel: Grønlandsk krybekælder

- Vand i bunden
- Isolering slutter så der er kuldebro
- Skimmel på organiske dele



Grønlandske specialiteter

- Sneophobninger
 - På tage
 - Blokerer ventilation
- Varme tage
 - For meget sne betyder, at der er tød nederst
⇒ vand under sne, når det når kanten,
fryser det og der dannes is



Hvad kan man gøre forebyggende

Vis
Vand
Væk,
Vand
Volder
Vanskeligheder



Hvad kan man gøre forebyggende

- Overvej hvordan risikoen for indbygget fugt formindskes, fx materialernes sårbarhed

	Lav sårbarhed	Middel sårbarhed	Høj sårbarhed
Materialets evne til at opsuge/optage fugt	Ingen, f.eks. glas og stål	Middel, f.eks. beton og træ med mulighed for udtørring	Stor, f.eks. sammensatte komponenter, stærkt sugende som porebeton, lukkede træelementer
Risiko for skimmelvækst eller materialenedbrydning	Begrænset risiko	Nogen risiko	Stor risiko
Afsat tid til udtørring	Tilstrækkelig tid	Presset tidsplan, men fokus på udtørring	Presset tidsplan, vanskeligt at nå udtørring

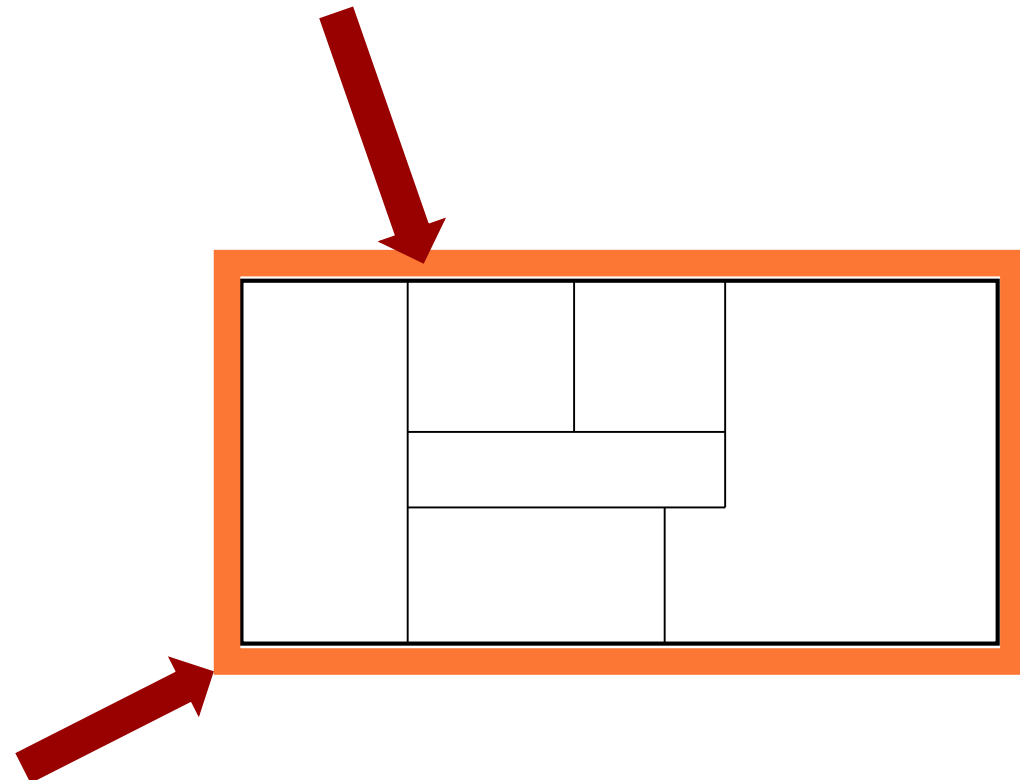
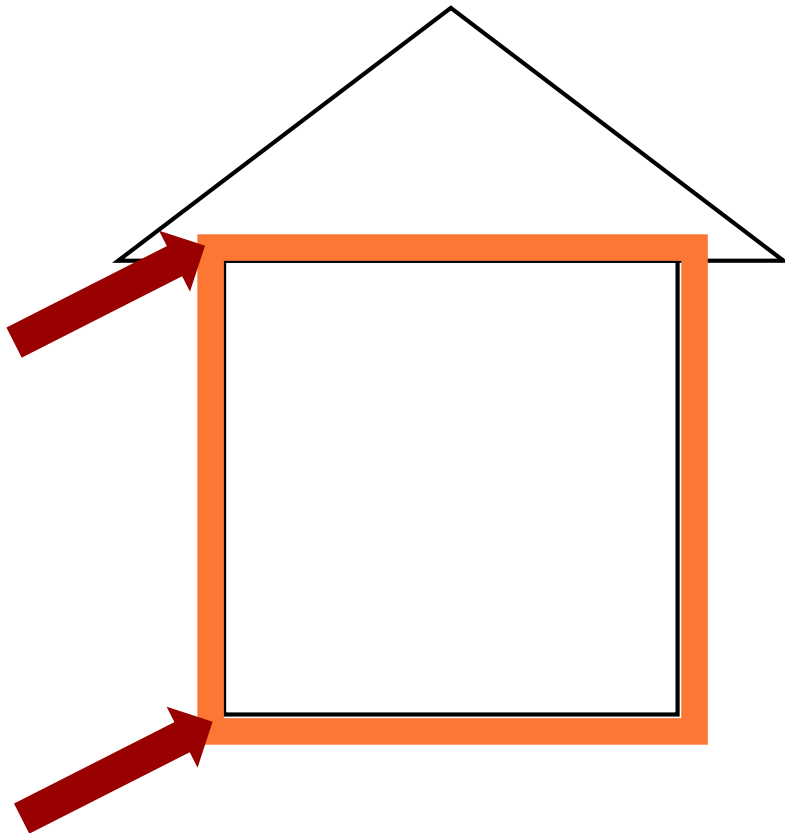
Hvad kan man gøre forebyggende

- Overvej hvordan risikoen for indbygget fugt formindskes, fx materialeparametre

Parameter	Egenskab	Materialerangorden
Følsomhed overfor skimmel	Indhold af organisk materiale	Cementbaserede materialer, tegl Træ Gipskartonplader
Fugtindhold fra start	Vandtilførsel i byggeproces	Tørre materialer, f.eks. gips- og træplader Træ Murværk Porebeton Betonelementer Selvudtørrende beton In-situ beton
Vandoptag	Densitet og porefordeling	Beton Tegl Træ Porebeton

Minimer kuldebroer

- Kan man trække en streg rundt langs hele klimaskærmen uden at løfte blyanten?
- Jo tykkere streg, desto bedre isoleret



Sikre tæthed og ventilation

Et **tæt** hus betyder:

- Ventilationsmængden kan styres
- Luften strømmer i definerede åbninger

Et **utæt** hus betyder:

- Vejret er kraftigt styrende for ventilationen
- Luften finder selv vej, der hvor der måtte være huller

Et hus kan **ikke** blive for tæt
- men det skal ventileres



Det banale

- Brug sund fornuft
- Projektér ”i bund”
 - Fokus på bygbarhed
 - Ikke for mange varianter
 - Foreskriv fugtmålinger på relevante steder og tidspunkter
- Gransk projekterne
- Byg som planlagt
- Før tilsyn
- Mål fugt undervejs



Sammenfattende

- Fugt kan skade både bygning og brugerne
- Fugt forekommer både som is, vand og gas
- Transportmekanismerne er vigtige at forstå for at vide, hvad der påvirker fugtforholdene
- Mange veje til at forebygge
 - Mest af alt sund fornuft
 - Men **altid**:

Vis
Vand
Væk,
Vand
Volder
Vanskeligheder

