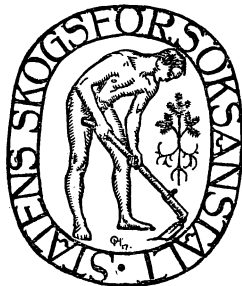


# TILL KOTTKLÄNGNINGENS TEORI OCH PRAXIS

ZUR THEORIE UND PRAXIS DES KLENGPROZESSES

AV

LARS-GUNNAR ROMELL



---

**MEDDELANDEN FRÅN STATENS SKOGSFÖRSÖKSANSTALT**  
**HÄFTE 22 · Nr 3**

---

MEDDELANDEN  
FRÅN  
STATENS  
SKOGSFÖRSÖKSANSTALT

HÄFTE 22. 1925

MITTEILUNGEN AUS DER  
FORSTLICHEN VERSUCHS-  
ANSTALT SCHWEDENS

**22. HEFT**

REPORTS OF THE SWEDISH  
INSTITUTE OF EXPERIMENTAL  
FORESTRY

**N:o 22**

BULLETINS DE LA STATION DE RECHERCHES  
DES FORÊTS DE LA SUÈDE

**N:o 22**



REDAKTÖR:  
PROFESSOR HENRIK HESSELMAN.

## INNEHÅLL:

	Sid.
TAMM, OLOF: Grundvattenrörelser och försumpningsprocesser be- lysta av grundvattnets syrehalt i nordsvenska moräner .....	1
Grundwasserbewegungen und Versumpfungsprozesse, durch Sauer- stoffanalysen des Grundwassers nordschwedischer Moränen erläutert	38
ROMELL, LARS-GUNNAR: Växttidsundersökningar å tall och gran ...	45
Recherches sur la marche de l'accroissement chez le pin et l'épi- céd durant la période végétation .....	117
ROMELL, LARS GUNNAR: Till kottklängningens teori och praxis .....	125
Zur Theorie und Praxis des Klengprozesses.....	138
PETRINI, SVEN: Tillväxtprocentens beräkning .....	145
The calculation of the increment percent by the compound interest method .....	165
HESSELMAN, HENRIK: Studier över barrskogens humustäcke, dess egenskaper och beroende av skogsvården .....	169
Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes, ihre Eigenschaften und deren Abhängigkeit vom Waldbau.....	508
PETRINI, SVEN: Om uppskattningen på försöksparkerna.....	553
Redogörelse för verksamheten vid Statens skogsförsöksanstalt under år 1925. (Bericht über die Tätigkeit der Forstlichen Ver- suchsanstalt Schwedens im Jahre 1925; Report on the work of the Swedish Institute of Experimental Forestry).	
Allmän redogörelse av HENRIK HESSELMAN .....	574
I. Skogsavdelningen (Forstliche Abteilung; Forestry division) av HENRIK PETTERSON .....	574
II. Naturvetenskapliga avdelningen (Naturwissenschaftliche Abteilung; Botanical-geological division) av HENRIK HESSELMAN	585
III. Skogsentomologiska avdelningen (Forestentomologische Abteilung; Entomological division) av IVAR TRÄGÅRDH.....	586
IV. Avdelningen för förnygringsförsök i Norrland (Abtei- lung für die Verjüngungsversuche i Norrland; Division for afforestation problems in Norrland) av EDVARD WIBECK .....	588



## TILL KOTTKLÄNGNINGENS TEORI OCH PRAXIS.

Genom några försök med klängning vid olika temperaturer, som jag i tjänsten företog förliden vinter (ROMELL 1925) kom jag något i beröring med klängningens praxis. Såväl härunder som senare vid studium av de uppgifter om klängningsteknikens utveckling i vårt land och utomlands, som jag funnit i litteraturen, har jag tyckt mig finna, att å ena sidan praktikens män hittills måst arbeta sig fram utan någon egentlig utredning om klängningens teoretiska förutsättningar, medan å andra sidan klängningsteknikens utveckling under de sista åren skulle motivera en t. o. m. ganska ingående teoretisk utredning av processen. Jag har då tänkt mig att de enkla påpekanden, som jag i det följande i all anspråkslöshet ämnar framlägga, skulle kunna bli till någon nytta för praktiken.

**Historik.** Kottefjällens öppningsrörelser höra till de s. k. hygroskopiska rörelserna, av vilka talrika fall påträffas inom växtriket. Många äro ytterst påfallande och ha redan tidigt tilldragit sig forskarnas uppmärksamhet, detta även och ej minst av den anledningen, att de så ofta synas påtagligt stå i fröspridningens tjänst. De utföras likväl av döda växtdelar och orsakas, som redan DUTROCHET (1837) hade klart för sig, helt enkelt av olikformig svällning och krympning hos olika partier vid ändrad vattenhalt. Kottefjällens öppnande orsakas av deras uttorkning. Klängningen går därför helt enkelt ut på att bortskaffa vatten ur kotten. Så enkelt som detta kan förefalla, har det emellertid dröjt förvånande länge, innan man i klängningspraktiken drog de naturliga konsekvenserna härav.

Avdunstningen av vatten befordras, som var och en torde veta, dels av värme, dels av luftväxling. Den praktiska kottklängningen specialiserade sig länge ensidigt på värmets och försummade luftväxlingen. I Tyskland, där kottklängning bedrivits i långa tider, synes en praktiskt ändamålsenlig klänganstalt med kraftig ventilation medelst fläkt ha åstadkommit först år 1902 (v. PENTZ 1921, s. 260). I Sverige sökte C. W. DYBECK och A. TENGELIN år 1911 patent på samma sak, vilket

beviljades 1914. Redan tidigare hade visserligen försök med konstgjord luftväxling gjorts, men dessa kunde ej leda till något verkligt gott resultat, så länge man ej sörjde för att luftväxlingen även blev jämn, d. v. s. kom all kotten tillgodo. Till detta ändamål måste man tvinga klängluften att verkligen passera igenom kottmassan genom att stänga in den i skåp eller kanaler. Denna princip synes första gången ha tillämpats ungefär vid sekelskiftet vid nybyggnaden av Eberswalde nya klänganstalt (v. PENTZ, s. 258) och i Sverige av DYBECK omkring 1909 (1923 s. 111).

Då klängningshastigheten å andra sidan ej alls står i proportion till luftväxlingens styrka, utan tvärtom vid än så kraftig ventilation ej kan bringas upp högre än ett visst av temperaturen bestämt gränsvärde (jfr nedan), urartar å andra sidan den alltmera ökade ventilationen lätt till ett slöseri med klängluft och alltså med värme, och man kom, både i Tyskland och Sverige, på den tanken att använda den bortgående luften till förtorkning av kotten före dess egentliga klängning. I Klausenaus stora, av v. PENTZ planlagda klänganstalt (byggd 1912—1914; avverkningsförmåga 100 hl kott pr skift, v. PENTZ s. 261 ff.) tillämpades, tycks det, första gången mera genomfört denna princip.<sup>1</sup> En senare utveckling av samma tanke är berlinfirman MÖLLER & PFEIFERS »säkerhetskläng», konstruerad av PFEIFER och v. PENTZ (v. PENTZ 1921, s. 272 ff.), där kotten klänges suksessivt vid 40°, 50° och 55°. Som namnet antyder, synes avsikten med konstruktionen likväl icke i första rummet vara fullständigaste möjliga utnyttjande av klängluften, utan främst att skydda fröet från att skadas av den heta klängluften genom att utsetta kotten för dess direkta inverkan först sedan den blivit nästan torr ( $\frac{3}{4}$  av fröet faller i de båda förtorkarna). Samtidigt vinnes emellertid, att klängluftens värme och torkningsförmåga utnyttjas bättre. Det är efter v. PENTZ' redogörelse att döma halvt om halvt en biprodukt av omtanken om fröets kvalitet, att man här kommit att för första gången i klängtekniken genomföra den s. k. motströmsprincipen, som sedan gammalt har stor användning i värme- och köldteknik samt kemisk-teknisk industri, så snart det gäller att så fullständigt som möjligt överföra värme (eller ett ämne, t. ex. klorväte, ammoniak) från en massa till en annan. Samma princip är mera fullständigt och målmedvetet genomförd i den förra året nybyggda, av länsjägmästare C. W. DYBECK planlagda klänganstalten i Borlänge, för vars konstruktion i korthet redögöres i min citerade uppsats (1925).

**Allmänna teoretiska förutsättningar.** Klängningen går som redan nämnt ut på att bortskaffa en tillräckligt stor del av vattnet ur kotten, m. a. o. att avdunsta en viss mängd vatten ur varje parti. Problemet

<sup>1</sup> Tanken är dock minst 70 år gammal, jfr LIEBICH 1854 s. 359.

är att göra detta så hastigt och billigt som möjligt utan att skada fröet. Därav att klängningsprocessen är en avdunstningsprocess följer emellertid icke, att den är direkt jämförbar med en annan avdunstningsprocess vilken som helst, t. ex. avdunstningen från en fri vattenyta. Vi vilja emellertid till en början betrakta detta enkla fall.

Avdunstningshastigheten från en fri vattenyta är proportionell mot 1) Vattenytans storlek<sup>1</sup> 2) Skillnaden mellan vattenytans ångtryck och ångtrycket i det därintill gränsande luftskiktet. Storleken av denna differens påverkas dels av temperaturen, dels av luftväxlingen, men på olika sätt. Temperaturen inverkar därigenom att vattnets ångtryck ökas. Detta har för varje temperatur ett visst bestämt värde, som vid frys-punkten uppgår till ungefär  $1/150$  av atmosfärtrycket, vid kokpunkten är lika med hela detta tryck. Stegringen mellan dessa värden är ej likformig, utan först långsam, sedan allt raskare. Luftväxlingen inverkar därigenom, att den bortför de med vattenånga bemängda luftskikt, som samla sig närmast vattenytan. I ett slutet rum utan luftväxling försiggår avdunstningen med avtagande hastighet till dess vattenångans tryck i rummet just motsvarar vattenytans ångtryck vid den givna temperaturen. När denna punkt nåtts, blir avdunstningen noll. Genom luftväxling kan avdunstningen ökas, men endast till ett visst värde, som är bestämt av skillnaden i ångtryck mellan vattenytan och den genom luftväxlingen tillförda friska luften. Den största avdunstningshastighet, som kan uppnås vid en given storlek hos den avdunstande ytan, är alltså bestämd dels av temperaturen, dels av fuktighetshalten i den tillförda friska luften; i vad mån detta värde uppnås, beror på luftväxlingens styrka.

Avdunstningen från en kropp sådan som en tall- eller grankotte måste i åtskilligt följa andra lagar än den från en fri vattenyta. De vattenhållande cellväggarna bestå av svällbara ämnen (geler), vilkas ångtryck beror icke blott på temperaturen, utan även på deras uttorkningsgrad. En närliggande konsekvens härav är att det för varje kottslag måste finnas ett visst (kritiskt) värde (mindre än 100 %) för den ingående förvärmade klängluftens relativa fuktighet, som ej får överskridas, om klängningen någonsin skall bli fullständig. I facklitteraturen brukar saken framställas så att varje kottslag fordrar en viss minimitemperatur för att klänga (jfr WAHLGREN 1922 s. 83, AMILON 1923 s. 204), vilket vore riktigt, om intagsluftens absoluta fuktighetshalt alltid vore lika; mot olika absolut fuktighet hos denna måste emellertid svara olika kritiska temperaturer.

<sup>1</sup> För likformiga, olikstora ytor blir sambandet genom samverkan av 1) och 2) mera komplicerat; jfr JEFFREYS 1918, WALTER 1925.

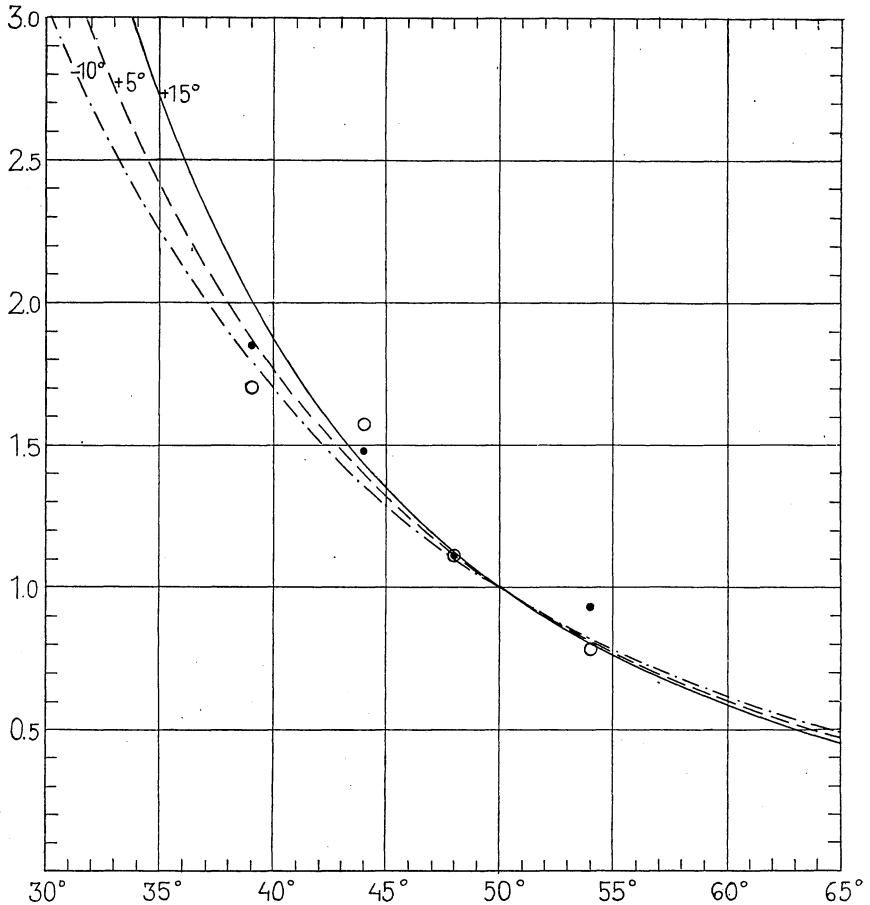


Fig. 1. Kurvorna: Relativa avdunstningstider vid de å abscissaxeln angivna temperaturerna, under förutsättning av maximal luftväxling. Temperatursiffrorna invid kurvorna ( $-10^{\circ}$ ,  $+5^{\circ}$ ,  $+15^{\circ}$ ) ange de förutsättningar, under vilka kurvan är konstruerad, nämligen att intagsluften är mättad med vattenånga vid resp.  $-10^{\circ}$ ,  $+5^{\circ}$  och  $+15^{\circ}$  C. Punkterna betyda de relativa klängtider (tiderna vid  $48^{\circ}$  satta lika med 1,11), som utprovades vid författarens försöksklängningar i Rankhyttan (ROMELL 1925). Ofyllda cirklar gran, små fyllda cirklar tall. Märk att diagrammet är jämförbart endast med klängning vid jämn temperatur, jfr f. ö. texten.

Fig. 1. Die Kurven: Relative Verdunstungszeiten (die bei  $50^{\circ}$  gleich 1 gesetzt) bei den auf der Abszissenachse eingetragenen Temperaturen, unter Voraussetzung von maximaler Ventilation, bei drei verschiedenen Wassergehalten der Klengluft (entsprechend Sättigung mit Wasserdampf bei bezw.  $-15^{\circ}$ ,  $+5^{\circ}$  und  $+15^{\circ}$ , vgl. die Ziffern bei den Kurven). Die Punkte: Relative in der Klenganstalt Rankhyttan (ROMELL 1925) ausprobierte Klengzeiten (die für  $48^{\circ}$  gleich 1,11 gesetzt). Helle Kreise = Fichten-, gefüllte = Kiefernzapfen. Vgl. Text, S. [15]—[16].

Vad beträffar hastighetsförloppet vid klängningen, måste kottsubstansens gelnatur inverka så, att svällningsvattnet vid oförändrad temperatur och luftväxling bortgår hastigare i början än mot slutet. Å andra sidan ökas den fria avdunstande ytan, sedan kottefjällen börjat spreta ut. Slut-



ligen är det möjligt, att avdunstningshastigheten mera bestämmas av den hastighet, varmed vattnet kan förflytta sig från kottefjällens inre till deras yta, än av de ytliga skiktens ångtryck. Den sista möjligheten torde vara det allvarligaste hindret för att jämföra klängningsförloppet med avdunstningen från en fri vattenyta<sup>1</sup>.

Trots allt detta är det ingalunda otänkbart att de relativa klängtiderna vid olika temperaturer praktiskt taget förhålla sig som de tider, som skulle krävas för avdunstning av en viss mängd vatten från en fri vattenyta. De för olika temperaturer avpassade klängtider, som jag utprovade i Rankhyttan (ROMELL 1925), synas, trots det ingen särskild omtanke nedlades på denna sak och tidsbestämningarna därför äro mycket grova, tillåta ett avgörande av denna fråga.

I fig. 1 äro återgivna tre kurvor, som ange relativa avdunstningstider för en viss given vattenmassa med given fri avdunstningsyta vid olika temperaturer och fuktighet hos ingångsluften, under förutsättning av maximal luftväxling. De tre kurvorna hänföra sig till tre olika fuktighetsgrader hos ingångsluften, nämligen full fuktighetsmättning vid respektive  $-5^\circ$ ,  $+5^\circ$  och  $+15^\circ$ . Den vid  $50^\circ$  temperatur behöfliga tiden har satts till 1. Till jämförelse med dessa kurvor äro de i Rankhyttan funna klängtiderna inlagda i motsvarande relativt mått, varvid värdena för  $48^\circ$  satts till 1,11<sup>2</sup>. Man ser, att punkterna ordna sig förvånande väl efter kurvorna. Beträffande det något för höga värdet för tall vid  $54^\circ$  är att märka, att det för denna klängning antecknades, att kotten var särskilt väl klängd. Denna klängtid blev alltså i förhållande till de andra rikligt tilltagen och skulle varit lägre för att vara jämförbar med de andra.

Man synes alltså kunna med för praktiskt bruk användbar noggrannhet bestämma förhållandet mellan de lägsta möjliga klängtider, som motsvara olika temperaturer, helt enkelt med utgångspunkt från de relativa avdunstningshastigheterna från en fri vattenyta. Härigenom är en möjlighet given att förhandskalkylera den vinst med avseende på avverkningsförmåga som en viss höjd klängtemperatur medför. De i fig. 1 meddelade kurvorna hänföra sig till klängning vid jämn temperatur. Förhållandena vid en klänganstalt sådan som den i Borlänge skola vi längre fram diskutera.

Temperaturen har alltså en fundamental roll i klängningstekniken. Den bestämmer i praktiken jämte luftfuktigheten en absolut gräns för klängningshastigheten, som (vid atmosfärtryck) ej kan överskridas. Lika viktig är dock på sitt sätt luftväxlingen. Man kan uttrycka dess roll så, att

<sup>1</sup> De lagar, som reglera vattentransporten från de vattenhaltigare till de torrare delarna av en torkande gel äro, enligt benägen uppgift av prof. S. ODÉN, ej utredda.

<sup>2</sup> Klängningen avbröts, när alla lådorna voro färdigklängda. Det är alltså den översta lådans temperatur, som bör jämföras med klängningstiden.

den bestämmer, i vilken grad de av temperaturen bestämda möjligheterna utnyttjas. Beträffande luftväxlingen gäller det då att väga mellan två i motsatt riktning verkande krav. Å ena sidan bör klängtiden nedbringas så nära gränsen som möjligt, både med tanke på avverkningsförmågan och fröets kvalitet. Från dessa synpunkter kan luftväxlingen aldrig bli för kraftig. Å andra sidan bör ur driftsekonomisk synpunkt slöseri med kraft och framförallt med värme undvikas, vilket talar för en blott måttligt stark luftväxling. Det är utan vidare klart, att om luftväxlingen redan uppdrivits så att man praktiskt taget nått gränsen för avdunstningshastigheten vid den givna temperaturen, varje ytterligare ökning är rent slöseri. Slöseriet börjar emellertid långt tidigare. Man måste tänka på, att den genomströmmande klängluften i praktiken spelar en dubbel roll. Dels sörjer den genom sin rörelse för luftväxling och hindrar att vattenmättade luftskikt samlas omkring kottarna. Men samtidigt tjänstgör den som värmekälla och levererar det värme, som åtgår för avdunstning m. m. Det nyss förda resonemanget om olika stark luftväxling vid en och samma temperatur vore strängt tillämpligt endast om ventilation och uppvärmning vore skilda från varandra, t. ex. om klängningen skedde i ett stort slutet rum, som uppvärms i sin helhet och där den uppvärmda luftmassan bringas att cirkulera igenom kotten medelst fläktar. I detta fall skulle en ökning av luftväxlingens styrka över alla gränser endast betyda ett slöseri med mekanisk kraft. Vid en anordning sådan som de i praktiken brukliga betyder en oproportionerlig ökning av luftströmmens styrka vid en och samma botten temperatur i skåpet även ett slöseri med värme. För att klängluften skall kunna sägas vara väl utnyttjad, måste dess värmeförråd så långt möjligt tillgodogöras i klängen.

Vid klängstugor med fasta ållor sådana som Rankhyttan vore detta möjligt endast om mängden tillförd frisk luft hela tiden varierades under klängningens gång. Denna väg har man något varit inne på i Tyskland (Annaburg, jfr v. PENTZ s. 260). Betydligt enklare och bättre kan emellertid ett fullständigare utnyttjande av klängluften åstadkommas genom tillämpning av motströmsprincipen och införande av kontinuerlig drift, såsom i MÖLLER & PFEIFERS ovannämnda säkerhetskläng och än mer genomfört i Borlänge. Dessa på en rationell princip byggda klängstugor äro helt säkert framtidens.

Förhållandena vid kontinuerlig drift. För att klargöra sambandet mellan de olika inverkanse faktorerna vid kontinuerlig drift enligt motströmsprincipen är det lämpligt att först införa ett begrepp, som jag vill kalla gränstemperaturen för torkningsförmågan. Låt oss tänka oss ett klängskåp i arbete sådant som de i Borlänge, blott med ännu

flera och lägre klänglådor, som en och en sättas in upptill och nedtill tas ut ideligen, så att tillståndet kan anses fullt stationärt under driften. För varje tidsenhet inblåses nedifrån i skåpet en viss mängd luft av en viss temperatur och fuktighetshalt och uttages en viss mängd torkad kott med samma temperatur som ingångsluftens. Vi anta, att kotten städse uttages i samma ögonblick, som den är färdigklängd. Temperaturen

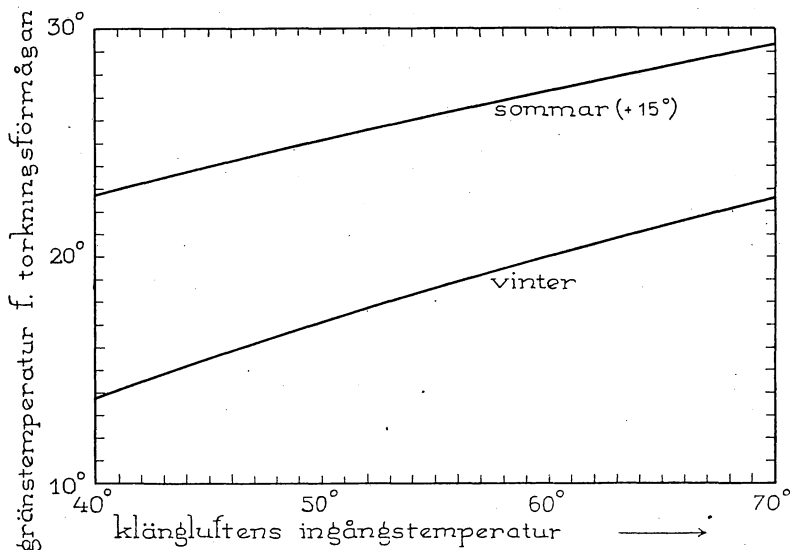


Fig. 2. Sambandet mellan ingångstemperatur och gränstemperatur hos klängluften vid två olika grader av ursprunglig vattenhalt. Den övre kurvan (»sommar») är konstruerad under förutsättning, att intagsluften är mättad med vatten vid 15°, den nedre (»vinter») att den från början är vattenfri. Kotten har i bägge fallen antagits från början hålla 25 % vatten, räknat på totalvikten, varav de 20 bortgå vid klängningen.

Fig. 2. Beziehung zwischen der Eingangstemperatur der Klängluft und der Grenztemperatur für das Trocknungsvermögen, bei zwei verschiedenen Wassergehalten der Eingangsluft, und angenommen, dass das Zapfenmaterial anfangs 25 % Wasser seines Totalgewichts enthält, wovon 20 während des Klängens verdunsten. Für die obere Kurve (»Sommer») wurde angenommen, dass die Eingangsluft bei + 15° wassergesättigt, für die untere (»Winter»), dass sie wasserfrei ist. Vgl. Text, S. [17].

sjunker hela vägen uppåt i skåpet, beroende på att luften levererar värme till avdunstning av vattnet i kotten (avdunstnings- plus svällningsvärme) samt till uppvärmning av den torra kotten till den temperatur, som den har, när den tages ut nedtill. Dessutom avgår en del värme åt sidorna genom ledning genom skåpets väggar, och en del åtgår till uppvärmning av virket och sållduken i själva klänglådorna, som insätts kalla upptill och uttages varma nedtill i skåpet. Dessa båda sista poster ha försummats i det följande, vilket torde vara fullt tillåtligt och i alla händelser är det enda möjliga för ett allmänt resonemang, då de variera från anläggning till anläggning med skåpväggarnas tjocklek, virkesdimen-

sionerna i klänglådorna o. s. v. De ifrågavarande posterna äro naturligtvis rena förlustposter, som kunna och böra nedbringas till det minsta möjliga genom att göra väggarna så värmeisolerande och klänglådorna så föga voluminösa som möjligt. Bortse vi alltså från dessa värmeförluster, så beror luftens avkylning, i mån som den stiger upp i skåpet, uteslutande på att värme förbrukas till uppvärmning och torkning av kotten, i övervägande grad det senare. I samma mån blir luften fuktigare. Förr eller senare kommer man till en punkt, då luftströmmens temperatur och fuktighetshalt äro sådana, att luften just är mättad med vattenånga. Från och med denna punkt kan den tydligen icke längre uppta något vatten ur kotten, utan avger tvärtom vatten åt den kallare kott, varmed den eventuellt därefter kommer i beröring. För varje ingångstemperatur och ursprunglig fuktighetshalt hos klängluften samt vattenhalt hos kotten motsvaras nu denna gräns av en alldeles bestämd temperatur. Det är denna, som vi kalla gränstemperaturen för torkningsförmågan. Denna temperatur beror under de gjorda förutsättningarna endast på de nämnda faktorerna, är alltså oberoende av klängskåpets höjd, luftströmmens hastighet m. m.

Gränstemperaturens beroende av klängluftens ingångstemperatur vid två olika förutsättningar angående dess ursprungliga fuktighetshalt är framställt i fig. 2. Beräkningarna ha gjorts så fullständiga och därmed så pass noggranna, som med föreliggande siffror är möjligt<sup>1</sup>. För den kurva, som är betecknad »vinter», har utgått från den förutsättningen, att klängluften går in i skåpet absolut torr. Denna förutsättning motsvarar nära förhållandena vid klängning på vintern vid köldgrader och användning av något så när höga maximala klängningstemperaturer. Den översta, »sommar»-kurvan, är beräknad efter samma förutsättningar, utom att klängluften antagits från början vara mättad med fuktighet vid 15° i stället för vattenfri. Den avser att närmelsevis återge förhållandena vid klängning sommartid.

Kottens temperatur vid inläggningen i skåpet har satts lika med gränstemperaturen, detta dels för att kunna behandla det hela som fullt stationärt, dels för att denna temperatur i praktiken måste vara betydligt varierande, dels slutligen därför att det enda rationella är att från början uppvärma kotten till minst denna temperatur på annat sätt än genom den avgående klängluftens direkta inverkan (jfr nedan).

<sup>1</sup> Följande konstanter ha använts: Luftens specifika värme (även den vid 15° vattenmättades) vid konstant tryck = 0,24, vattnets ångbildningsvärmens vid de olika gränstemperaturerna interpolerade efter AMES' tabell CHWOLSON s. 656, torrsubstansens totala svällningsvärme 16,9 kal., dess svällningsvärme vid en vattenhalt = 6,67 % av torrsubstansens vikt (= återstoden, när av ursprungliga 25 % vattenhalt av totalvikten de 20 bortgått) = 10,2 kal., den torra kottens specifika värme 0,3 (VOLBEHR 1896). Siffrorna å vattenhalt och ångans tryck vid mätning vid olika temperaturer ur LANDOLT-BÖRNSTEINS tabeller. Totaltrycket har hela tiden antagits = 760 mm kvicksilver.

De antagna värdena å ursprunglig och efter klängningen återstående vattenhalt i kotten överensstämma närmast med dem som jag fann för tall i Borlänge (ROMELL 1925, sid. 3).

Man ser först och främst av kurvorna, att gränstemperaturen vid en och samma ursprungliga fuktighetshalt är beroende av ingångsluftens temperatur. Vid en högre temperatur hos denna är dess torkningsförmåga även uttömd vid högre temperatur. Vidare blir helt naturligt torkningsförmågan uttömd vid dess högre temperatur, ju fuktigare luften var från början. Skillnaderna mellan sommar- och vinterförhållanden i detta avseende äro, som man finner, ej oväsentliga. I jämförelse med dem bli skillnaderna mellan olika kottpartier, allt efter deras olika vattenhalt, obetydliga, beroende på att det värme, som åtgår för den torra kottens uppvärmning, endast är en liten bråkdel av det som förbrukas till vattnets avlägsnande därur (mera inverkar det, hur fullständigt vattnet behöver utdrivas ur kotten; svällningsvärmets är rätt betydligt, särskilt vid låg vattenhalt, jfr noten).

Man kan nu säga, att klängluften är till det yttersta utnyttjad, om den bortgår upptill i skåpet med en temperatur lika med gränstemperaturen. Dess värmeförråd är visserligen långt ifrån utnyttjat. Men det kvarvarande värmets kan endast utvinnas om samtidigt vatten utskiljes. En luftström av viss styrka kan, som lätt inses, vid en lägre temperatur icke bära med sig så mycket vatten som motsvarar full mättningsgrad vid en högre temperatur. Om klängskåpet, utan att någon förändring vidtages med avseende på luftströmmens styrka o. s. v., utökas upptill med flera kottlädor ovanför den punkt, där klängluftens temperatur gått ned till gränstemperaturen, så är detta meningslöst, om denna kott från början har minst samma temperatur som gränstemperaturen. Är kotten åter kallare än denna temperatur och man fortsätter att driva skåpet som förut, så rubbas jämviktstillståndet, och för att icke vatten skall ansamlas i klängskåpet måste luftströmmens styrka ökas eller kottmätningen minskas, till dess luften återigen avgår vid gränstemperaturen<sup>1</sup>. Om klängluften avgår upptill vid gränstemperaturen, äro alltså dess torkningsförmåga och värmeförråd så långt utnyttjade som möjligt (utan särskilda anordningar, som vi skola komma till senare).

Om resultaten av olika klängningsbetingelser vid systemet med kontinuerlig drift skola jämföras med varandra, är det tydligen lämpligt att göra detta under den förutsättningen att klängluften i de olika fallen utnyttjas i samma grad. Eljest bli alla jämförelser flytande. Tills vidare vilja vi anta, att klängluften utnyttjas praktiskt taget fullständigt, d. v. s. avgår vid en temperatur helt nära gränstemperaturen (exakt kan detta

<sup>1</sup> Denna värde bleve visserligen något litet ändrat på grund av att proportionen mellan till avdunstning och till uppvärmning använda värmets förskjutits.

aldrig bli fallet). Mellan ingångstemperaturen i botten och gränstemperaturen upptill faller temperaturen i skåpet efter en kurva som är karakteristisk för varje ingångstemperatur och ursprunglig fuktighetshalt hos klängluften, men oberoende av klängskåpets höjd, luftströmmens hastighet m. m. Luftströmmens hastighet måste nämligen injusteras efter skåpets höjd för att de förhållanden skola bli rådande, som vi betrakta. Under sådana förhållanden blir även klängtiden praktiskt taget uteslutande bestämd av klängluftens ingångstemperatur och ursprungliga vattenhalt, om blott klängluftens hastighet är så stor att de i skåpets olika delar rådande temperaturerna (vid resp. rådande fuktighetshalt hos luftströmmen) äro praktiskt taget utnyttjade (jfr s. [3] och [6]). Det vill med andra ord säga, att skåpet, för att resonemanget skall vara tillämpligt, måste ha en viss minimihöjd. Är detta fallet, kan klängtiden som sagt betraktas som praktiskt taget uteslutande bestämd av klängluftens temperatur och fuktighet vid inträdet i skåpet. I olika höga skåp måste lådorna använda samma tid för att passera igenom uppifrån och ned. Den hastighet, varmed kotten passerar nedåt, d. v. s. skåpets klängningskapacitet, blir direkt proportionell mot dess höjd, likaså den hastighet hos luftströmmen, som bör användas. I ett dubbelt så högt skåp klänges alltså pr timme dubbelt så mycket kott, vid användning av dubbelt så stark luftström, men kottens klängtid blir densamma. Hur höga skåpen minst måste vara för att man skall få resonera på detta sätt är svårt att säga. För lägre skåphöjder blir tydligen, på grund därav att ventilationens styrka inverkar, klängtiden mindre, om skåpets höjd ökas. Höga skåp äro alltså att föredraga.

Luftens fuktighetshalt vid mätning vid gränstemperaturen, med avdrag av vad den innehöll från början, ger upplysning om den högsta mängd vatten, som pr tidsenhet kan avlägsnas ur skåpet med en luftström av viss styrka och alltså även om högsta möjliga avverkningsförmåga hos skåpet vid konstant styrka hos luftströmmen, men olika ingångstemperaturer.

Avgångsluftens förmåga att medföra vatten (tab. 1) ökas med ökad ingångstemperatur mycket långsammare än avdunstningshastigheten vid de temperaturer, som råda i skåpets undre delar, där avdunstningen är kraftigast (fig. 1). Härav följer, att om man vid en viss hastighet hos luftströmmen ( $g$  luft pr enhet tvärsnitt och tidsenhet) och viss höjd på skåpet ökar botten temperaturen, klängluften måste börja närma sig den nya gränstemperaturen redan längre ned i skåpet än förut. Klängluften blir alltså bättre utnyttjad, men skåpet sämre utnyttjat än förut. För att få ett tillstånd jämförbart med det tidigare måste vid den högre temperaturen luftströmmens hastighet ökas. Även sedan detta skett, kom-

Tab. 1. Med varje  $g$  ren klängluft bortförd vattenmängd i  $g$ , om klängluften utnyttjats till gränstemperaturen.

Tab. 1. Mit jedem  $g$  reiner Klengluft fortgeschleppte Wassermenge in  $g$  beim Ausnützen jener bis zur Grenztemperatur.

Ingångsluften vattenfri («vinter») Eingangsluft wasserfrei («Winter»)			Ingångsluften mättad vid 15° («sommar») Eingangsluft bei 15° gesättigt («Sommer»)		
Gränstemperatur Grenztemperatur	Uppt. vatten pr $g$ ing.-luft Aufg. Wasser pro $g$ Eing.-Luft	Motsv. ingångs- temperatur, c:a Entspr. Eing.- Temperatur, z:a	Gränstemperatur Grenztemperatur	Uppt. vatten pr $g$ ing.-luft Aufg. Wasser pro $g$ Eing.-Luft	Motsv. ingångs- temperatur, c:a Entspr. Eing.- Temperatur, z:a
13°	0,0093	38°	21°	0,0049	34°
15°	0,0105	44°	23°	0,0069	41°
17°	0,0120	50°	25°	0,0092	49°
19°	0,0136	56°	27°	0,0118	59°
21°	0,0155	64°	29°	0,0146	69°

mer dock klängtiden icke att minskas i samma proportion till ökningen av ingångstemperaturen som kurvorna fig. 1 utvisa. En ökning enligt dessa kurvor kan nämligen endast förväntas i den allra understa lådan i skåpet, där just ingångstemperaturerna och den ursprungliga fuktigheten hos klängluften äro rådande. Uppåt blir ökningen allt mindre och mindre. Den minskning i klängtid, som man kan uppnå vid kontinuerlig drift efter motströmssystemet genom ökning av luftens ingångstemperatur, under förutsättning att klängluften i de olika fallen utnyttjas praktiskt taget lika väl, ligger alltså mellan den i fig. 1 och den ur tab. 1 beräknade.

I praktiken blir det opraktiskt att sträva efter att utnyttja klängluften i klängskåpet ända till gränstemperaturen. Denna blir i själva verket ett gränsvärde, till vilket luftens temperatur endast långsamt närmar sig. Avdunstningshastigheten blir alltså mycket låg i övre delen av skåpet<sup>1</sup>. Om man strävar efter att i möjligaste mån utnyttja klängluften, så måste man med andra ord i stället slösa med utrymme. I ju högre grad klängluften utnyttjas, dess större del av skåpet kommer praktiskt taget att gå tomt.

**Fullkomningsmöjligheter.** Det finnes emellertid en annan utväg, som torde vara väl värd att försöka. Det är att, sedan klängluften utnyttjats något så när i skåpet, låta den passera antingen igenom en förvärmare för kotten, där den får uppvärma denna utan att komma i berö-

<sup>1</sup> Avdunstningshastigheten i skåpets olika delar kan direkt rätt nära bedömas av temperaturkurvor sådana som de som regelbundet registreras i Borlänge (jfr ROMELL 1925 fig. 1). Ju hastigare temperaturen faller, dess starkare är avdunstningen. Däremot kan man ej direkt använda hygrometerkurvorna på samma sätt, ty en viss förändring i luftens % mättningsgrad betyder mycket olika förändring i vattenhalt vid olika temperaturer. Vad temperaturkurvorna från Borlänge beträffar, måste man likväl från den synpunkt det här gäller räkna med stora störningar beroende på att skåpet öppnas nedtill allt emellan och att luften i översta delen av skåpet blandas med kall luft, som rinner ned uppifrån.

ring därmed, eller genom en temperaturutväxlare, där den möter den kalla intagsluft, som skall gå till luftvärmaren, och förvärmer denna. Man kan även tänka sig bådadera i en lämpligt dimensionerad kombination. Genom en dylik anordning kunde man utvinna den avgående luftens värmeförråd ej blott ned till gränstemperaturen, utan långt därutöver. I mån som avgångsluften avkyles i kottförvärmaren resp. temperaturutväxlaren, kondenseras vatten därur, vilket vatten kan avledas och därför icke besväras, men vars ångbildningsvärme kommer kotten resp. den mötande kalla intagsluften till godo. Man kan alltså på detta sätt utnyttja klängluftens värmeförråd långt fullständigare än som är möjligt i själva klängskåpet. Samtidigt kan skåputrymmet bättre utnyttjas genom ökning av luftströmmens styrka, utan att något värmeslöseri behöver bli följd. Det med avgångsluften bortgående outnyttjade värmeförrådet kan nämligen mer eller mindre fullständigt återvinnas i temperaturutväxlaren.

Den besparing av bränsle, som kan tänkas ernås genom en dylik anordning, är ej oväsentlig. Antag, att klängluftens ingångstemperatur är  $50^{\circ}$  och att råluften insuges praktiskt taget vattenfri vid  $-10^{\circ}$  C. (klängningen sker som bekant i stor utsträckning om vintern). Gränstemperaturen är under sådana förhållanden omkring  $17^{\circ}$  (fig. 2). Om man låter avgångsluften förvärma råluften till  $17^{\circ}$ , spar man tydligen  $(10 + 17) : (10 + 50) = 45\%$  bränsle. Den fuktiga  $17$ -gradiga luftens värmeförråd är så stort, att vid fullt återvinnande av värmets till denna förvärmning endast skulle åtgå i runt tal hälften av all avgångsluften. En del därav kan alltså avgrenas och användas till att förvärma den kalla kotten. I praktiken torde det å andra sidan (på grund av rimfrostbildningen) bli svårt att utnyttja avgångsluftens värme längre än ned till  $0^{\circ}$ , så att den i praktiken möjliga besparingen i det behandlade exemplet nog ej kan bli större än i runt tal  $30\%$ .

Efter mina tidigare meddelade försöksresultat (ROMELL 1925) att döma, synes man vid klängskåp med kontinuerlig drift efter motströms-systemet kunna utan risk för fröet använda rätt betydligt högre ingångstemperaturer hos klängluften än de f. n., särskilt för gran, brukliga. Vill man utnyttja den möjlighet till förkortning av klängtiden och alltså ökad avverkningsförmåga hos anläggningarna, som härigenom är given, så torde det vara praktiskt att först som sist övergå till automatiska anordningar för kottens transport ned igenom skåpet. Vid klänganstalten i Borlänge kan i varje fall avverkningsförmågan ej avsevärt uppdrivas över den nuvarande utan att fördubbla personalen, på grund av att arbetet med insättning och uttagning av kottlådorna är så tidsödande, att den arbetare, som har skiftet, eljest icke skulle hinna med att sköta



alla skåpen. En ytterligare olägenhet med skiftningen av lådorna för hand, som icke torde vara utan betydelse, är att därigenom skåpet måste ideligen öppnas nedtill, varigenom kall luft insläppes. En helautomatisk anordning för kottens nedtransport genom skåpet torde icke vara svår att åstadkomma för rimligt pris. Man kan t. ex. tänka sig klängskåpet i form av ett cylindriskt torn med en mängd roster eller galler i våningar över varandra, där kotten får falla från den ena till den andra. Detta skulle lätt kunna åstadkommas genom en enda rörlig del, nämligen en central axel, försedd med några radiella skovlar i varje våning, vilka långsamt maka kotten runt på gallret, tills den efter ej fullt ett varv faller ned genom ett i gallret anordnat hål till nästa våning, där det samma upprepas.

#### Litteratur.

- AMILON, J. A., 1923, Skogsskötseln och dess förutsättningar. — Stockholm.  
 CHWOLSON, O. D., 1905, Lehrbuch der Physik, Bd 3. — Braunschweig.  
 DUTROCHET, M. H., 1837, Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux. — Bruxelles.  
 DYBECK, W., 1923, Fröår, kottinsamling och fröklängning. — Skogen 10, s. 103.  
 HAACK, FR., 1905, Untersuchungen über den Einfluss verschieden hoher Darrhitze auf das Keimprozent des Kiefersamens. — Z. f. Forst- u. Jagdw. 37, s. 296.  
 JEFFREYS, H., 1918, Some problems of evaporation. — Philosoph. Magazine, 6. Series, 35, s. 270.  
 LANDOLT-BÖRNSTEIN, Physikalisch-chemische Tabellen. — 4. uppl. 1912, Berlin.  
 LIEBICH, CHR., 1854, Compendium der Forstwissenschaft. — Wien.  
 V. PENTZ, 1921, Die Entwicklung der Klenganstalten in den letzten 25 Jahren. — Z. f. Forst- u. Jagdw. 53, s. 257.  
 ROMELL, L.-G., 1925, Försök med klängning av gran- och tallkott vid olika temperaturer. — Flygblad nr 34 från Statens skogsförsöksanstalt. — Även i Skogen 12, s. 189.  
 VOLBEHR, B., 1896, Untersuchungen über die Quellung der Holzfaser. — Diss. Kiel.  
 WAHLGREN, A., 1922, Skogsskötsel, 2. uppl. — Stockholm.  
 WALTER, H., 1925, Die Verdunstung von Wasser in bewegter Luft etc. — Z. f. Bot. 18, s. 1.

## RESÜMEE

### Zur Theorie und Praxis des Klengprozesses.

Durch einige ihm im Dienstauftrag anvertrauten Klengversuche (ROMELL 1925) kam Verf. unlängst mit der praktischen Klengtechnik in Berührung. Er glaubte bei dieser Gelegenheit wie auch später bei Durchsicht der einschlägigen Literatur zu erkennen, dass die praktischen Klenger und Klengbauer bis auf den heutigen Tag überraschend rein empirisch-praktisch gearbeitet haben. Andererseits ist die Klengtechnik heute, im wesentlichen rein empirisch, auf eine Höhe gebracht und der Klengbetrieb — auch in Schweden — so umfassend geworden, dass z. Z. eine sogar recht eindringende theoretische Behandlung gerechtfertigt wäre. Bei dieser Sachlage hat Verf. geglaubt, dass die in dem vorliegenden Aufsatz vorgelegten einfachen Überlegungen und Winke für die eine oder andere Auseinandersetzung in praktischen Klengfragen von Nutzen sein könnte.

**Historisches.** Die Öffnungsbewegungen der Zapfenschuppen gehören zu den hygrokopischen Bewegungen, deren Natur im wesentlichen schon von DUTROCHET (1837) richtig erfasst wurde. Das Öffnen der Zapfen ist also ein Entquellungsvorgang und das Klengverfahren soll das Quellungswasser der Zapfensubstanz bis auf einen kleinen Rest möglichst schnell, billig und in für die Samen unschädlicher Weise entfernen.

Die Verdunstung von Wasser wird — wie wohl jedermann weiss — teils durch Wärme, teils durch Ventilation gefördert. In der Klengtechnik spezialisierte man sich aber lange einseitig auf die Wärme und versäumte — bekanntlich nicht zum Vorteil für die Qualität des Samens — die Ventilation. Der naheliegende Gedanke, Ventilatoren zur Erzielung eines kräftigen Luftwechsels zu verwenden, scheint erst 1902 in praktisch brauchbarer Weise zur Ausführung gekommen zu sein (v. PENTZ 1921, S. 260; frühere Versuche in derselben Richtung scheiterten daran, dass der Weg des Luftstromes nicht gebührend eingeeengt wurde, und die Luft somit grösstenteils wild vorbeiströmte, anstatt durch die Zapfenschicht hindurchgepresst zu werden). In Schweden wurde erst vor etwa 15 Jahren derartige künstliche Ventilation von DYBECK eingeführt, ist aber jetzt allgemein in Gebrauch.

Eine ausgiebige Erneuerung der Klengluft durch kräftige Ventilation bedeutet andererseits eine gewisse Verschwendung nicht nur von mechanischer Kraft, sondern auch von Wärme, denn die Verdunstungsgeschwindigkeit steht (vgl. unten) keineswegs im Verhältnis zu der Geschwindigkeit des Luftstromes durch die Zapfenschicht. Es liegt nahe, die aus dem Klengraum fortströmende Luft zum Vorwärmen und Vortrocknen der nachher zu klengenden Zapfen

zu gebrauchen, wie dies auch tatsächlich schon sehr früh versucht worden ist (LIEBICH 1854, s. 359). In jüngerer Zeit ist man immer weiter auf diesem Weg gegangen. Die Entwicklung scheint die gewesen zu sein, dass man zunächst die Ventilation immer stärker machte, um kürzere Klengzeiten ohne Verwendung hoher Wärmegrade (deren Gefährlichkeit von HAACK 1905 dargelegt worden war) zu erzielen, wobei natürlich die Klengluft immer weniger im eigentlichen Klengraum ausgenützt wurde und immer besser zum Vortrocknen der Zapfen ausserhalb des Klengraums verwendet werden konnte. Der eigentliche Grund dazu, ein regelmässiges Vortrocknen der Zapfen durch die verbrauchte Klengluft einzuführen, wie es in der grossen Klenganstalt zu Klausenau und bei der »Sicherheitsdarre« MÖLLER u. PFEIFERS geschehen ist, scheint aber nach der Darstellung v. PENTZ' (1921 S. 261 ff., 272 ff.) die Sorge um die Samenqualität gewesen zu sein. Es scheint also gewissermassen als Nebenprodukt von Rücksichten letzterer Art das värmeökonomisch richtige und wichtige Gegenstromprinzip zum erstenmal mit der genannten Sicherheitsdarre in die Klengtechnik eingeführt worden zu sein. Dasselbe Prinzip ist vollständiger und bewusster in der von DYBECK gebauten, erst neulich in Betrieb genommenen Klenganstalt zu Borlänge (Dalarna, Schweden) durchgeführt worden. Die Klengräume haben dort die Gestalt von etwa 4 m hohen, aus Holz gebauten Schachten, deren jede 20 aufeinander gestapelte Horden fasst. Von unten nach oben wird durch den Schacht ein warmer Luftstrom getrieben. Der Betrieb ist kontinuierlich. Mit bestimmten Intervallen — Tag und Nacht hindurch — wird eine Horde fertig geklengter Zapfen unten herausgenommen und eine ebensolche mit frischen Zapfen oben aufgesetzt. Die Horden mitsamt den Zapfen wandern also während des Klengens nach unten dem Luftstrom entgegen. Der Gang der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit von oben nach unten innerhalb des Schachts, bei 4 verschiedenen Eingangstemperaturen der Klengluft, ist aus Fig. 1 ROMELL 1925 ersichtlich.

**Allgemeine theoretische Voraussetzungen.** Das Klengen geht darauf hinaus, eine gewisse Wassermenge aus jedem Zapfen zu verdunsten. Darauf folgt zwar nicht, dass der Klengprozess mit jedem beliebigen Verdunstungsprozess vergleichbar wäre, z. B. mit der Verdunstung einer freien Wasserfläche. Wir wollen dennoch zunächst diesen einfachen Fall ins Auge fassen.

Die Geschwindigkeit der Verdunstung von einer freien Wasserfläche ist proportional: 1) der Grösse der Wasserfläche<sup>2</sup>; 2) der Differenz im Dampfdruck zwischen der Wasserfläche und der angrenzenden Luftschicht. Genannte Differenz wird von der Temperatur und der Ventilation in verschiedener Weise beeinflusst. Man kann die Sachlage einfach so ausdrücken, dass die Temperatur zusammen mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Eingangsluft eine (bei Atmosphärendruck) nicht überschreitbare Grenze der Verdunstungsgeschwindigkeit bestimmt, während die Ventilation darüber entscheidet, inwiefern die tatsächliche Verdunstungsgeschwindigkeit sich dieser Grenze nähert. Die theoretisch berechneten relativen Zeiten für Verdunstung einer gegebenen Wassermenge von einer gegebenen Fläche bei verschiedenen Temperaturen, unter Voraussetzung maximaler Ventilation, sind für drei verschiedene Voraussetzungen über den Wassergehalt der Luft in der Fig. 1 (S. [4]) graphisch dargestellt.

<sup>2</sup> Für gleichförmige, ungleich grosse Flächen wird die Abhängigkeit durch Zusammenwirken von 1) und 2) komplizierter; vgl. JEFFREYS 1918, WALTER 1925.

Die Verdunstung von der Fläche eines imbibierten quellbaren Körpers wie eines Nadelholzzapfens muss in vielem andern Gesetzen gehorchen als die Verdunstung einer freien Wasserfläche. Der Dampfdruck eines solchen Körpers hängt, ausser von der Temperatur, von dem Quellungsgrad ab. Eine naheliegende Konsequenz davon ist, dass es für jede bestimmte Zapfenart ein kritischer Wert (niedriger als 100 %) für die relative Feuchtigkeit der eintretenden (erwärmten) Klengluft geben muss, die nicht überschritten werden darf, wenn die Zapfen überhaupt klengen sollen.<sup>1</sup> Was die Geschwindigkeit der Verdunstung betrifft, muss die Gelnatur der Zapfensubstanz bewirken, dass das Quellungswasser bei unveränderter Temperatur und Ventilation anfangs schneller verdunstet als später. Andererseits wird die verdunstende Fläche vergrößert, nachdem die Zapfenschuppen auszuspitzen begonnen haben. Endlich ist es möglich, dass die Verdunstungsgeschwindigkeit mehr von der Geschwindigkeit des Nachschubes von Wasser vom Innern der Zapfenschuppen gegen ihre Fläche als von der Dampfdruckdifferenz zwischen der Fläche und der Luft bestimmt wird.<sup>2</sup> Letztere Möglichkeit scheint das schwerwiegendste Hindernis zu sein, um den Klengprozess direkt mit der Verdunstung einer freien Wasserfläche zu vergleichen.

Trotz alledem ist es keineswegs ausgeschlossen, dass die relativen bei verschiedenen Temperaturen benötigten Klengzeiten sich zueinander so verhalten wie die entsprechenden Zeiten für Verdunstung einer gewissen Wassermenge von einer freien Fläche. Der in Fig. 1 dargestellte Vergleich der theoretischen Kurven mit den relativen Klengzeiten, die ich in Rankhyttan<sup>3</sup> ausprobierte, scheint im Gegenteil dafür zu sprechen, dass man (für solche Klenganstalten wie Rankhyttan, wo bei annähernd konstanter Temperatur und kräftiger Ventilation geklengt wird) mit praktisch genügender Genauigkeit den zu erwartenden Gewinn einer erhöhten Klengtemperatur von sehr einfachen Ausgangspunkten im voraus berechnen kann.

Die Temperatur hat also eine fundamentale Rolle im Klengbetrieb. Durch Erhöhung der Temperatur<sup>4</sup> von 40° auf 60° kann die Klengzeit auf etwa ein Drittel hinuntergebracht werden (vgl. Fig. 1). Inwieweit die von der Temperatur gegebenen Möglichkeiten zur Verkürzung der Klengzeit ausgenutzt werden, hängt freilich, wie gesagt, von der Stärke der Ventilation ab. Was letztere betrifft, muss man nun aber auch einem andern Gesichtspunkt Beachtung schenken, dem wärmeökonomischen. In der Praxis können Wärmezufuhr

<sup>1</sup> In der Fachliteratur pflegt die Sache so ausgedrückt zu werden, dass jede Zapfenart eine gewisse kritische Temperatur fordert, um überhaupt zu klengen. Dies wäre richtig, falls der (absolute) Feuchtigkeitsgehalt der Einsaugluft unter allen in der Praxis vorkommenden Fällen derselbe wäre; verschiedenem absolutem Feuchtigkeitsgehalt der Einsaugluft müssen aber verschiedene kritische Klengtemperaturen entsprechen.

<sup>2</sup> Die Gesetze, die den Wasserausgleich innerhalb eines trocknenden Gels beherrschen, sind nach gef. Mitteilung von Prof. S. ODÉN nicht geklärt.

<sup>3</sup> Klenganstalt mit diskontinuierlichem Betrieb. In jedem »Klengschrank« 7 Horden, die ihren Platz während der ganzen Schichtdauer behalten. Sehr ausgiebige Ventilation. Die oberste Horde klengt am langsamsten und bestimmt somit die Dauer der Schicht. Es sind folglich auch die an dieser obersten Horde gemessenen Temperaturen, die in der Fig. 1 mit den entsprechenden Klengzeiten verglichen worden sind.

<sup>4</sup> Fichtensamen hält nach meinen Untersuchungen (1925) bei guter Ventilation eine konstante Klengtemperatur von 60° aus, ohne dass sich der geringste Schaden in den Keimprozenten kundgibt.

und Ventilation nicht als zwei getrennte Momente behandelt werden, denn die hindurchgepresste Klengluft dient auch als Wärmequelle. Um Verschwenden von Wärmeenergie zu verhüten, soll der Wärmeverrat der Klengluft im eigentlichen Klengraum oder sonstwie möglichst ausgenützt werden. Bei Klenganstalten mit diskontinuierlichem Betrieb ist das nur in beschränktem Masse mittels steter Regelung des Luftstromes während der Schicht möglich. Viel besser gestalten sich die Verhältnisse bei kontinuierlich wirkenden, nach dem Gegenstromprinzip gebauten Anstalten. Diesem auf ein rationelles Prinzip sich gründenden Typus gehört sicher die Zukunft.

**Die Verhältnisse bei kontinuierlichem Betrieb.** Um diese klarzulegen, sei zunächst ein Begriff eingeführt, den Verf. die Grenztemperatur für das Trocknungsvermögen (oder kurz Grenztemperatur) nennt. Denken wir uns einen Klengschacht wie den in Borlänge in Betrieb, nur mit einer noch grösseren Anzahl von Horden, die immerfort unten mit eben fertig geklengten Zapfen herausgenommen und oben mit frischen Zapfen heraufgesetzt werden, so dass der Zustand als ganz stationär betrachtet werden kann. In jeder Zeiteinheit wird unten eine gewisse Menge Luft von bestimmter Temperatur und bestimmtem Feuchtigkeitsgehalt eingeblasen und eine gewisse Menge geklengter Zapfen herausgenommen, die die Temperatur der Eingangsluft haben. Die Temperatur sinkt in dem Schacht nach oben zu, weil Wärme verbraucht wird: 1. zum Verdunsten von Quellungswasser (Verdunstungs- plus Quellungs-wärme); 2. zur Erwärmung der Zapfen bis zur Temperatur der Eingangsluft; 3. zur Erwärmung der Horden. Noch wird 4. Wärme durch die Wände des Schachts nach den Seiten abgeleitet und geht verloren. Die Posten 3 und 4 werden in der folgenden Überlegung versäumt werden, einmal weil sie von einer Anlage zur andern äusserst wechselnd sein müssen, dann aber auch weil sie durch eine rationelle Bauart auf ein Minimum herabgesetzt werden könnten und sollten. Wir betrachten also lediglich den Wärmeverbrauch des Klengprozesses an sich — die Posten 1 und 2. Die nach oben streichende Klengluft wird durch diese Wärmeverluste kälter, gleichzeitig aber wasserreicher. Früher oder später kommt man an einen Punkt, wo die Klengluft mit Wasserdampf eben gesättigt ist. Von diesem Punkt an kann die Klengluft kein Wasser mehr selbst aus den wasserreichsten Zapfen aufnehmen, sondern gibt umgekehrt Wasser ab an die kälteren Zapfen, mit denen sie eventuell noch in Berührung kommt. Für jede Eingangstemperatur und Eingangsfeuchtigkeit der Klengluft wie ursprünglichen Wassergehalt der Zapfen entspricht nun diesem Punkt eine ganz bestimmte Temperatur, die wir die Grenztemperatur des Trocknungsvermögens nennen wollen. Diese Temperatur ist offenbar von der Höhe des Klengschachts, von der Schnelligkeit des Luftstromes u. s. w. unabhängig.

Die Abhängigkeit der Grenztemperatur von der Eingangstemperatur, bei zwei verschiedenen Voraussetzungen über die Eingangsfeuchtigkeit der Klengluft, und unter Annahme eines ursprünglichen Wassergehalts und eines Grads der Austrocknung der Zapfen, die etwa meinen Bestimmungen in Borlänge (ROMELL 1925, S. 3) sowie den Ziffern DYBECKS 1923 S. 112 entsprechen, wird in Fig. 2 S. [7] dargestellt. Die beiden gewählten Voraussetzungen über die Eingangsfeuchtigkeit der Klengluft beabsichtigen, in grober Weise den prak-

tischen Voraussetzungen beim Klengen, einerseits im Winter im innern Schweden, andererseits an einem warmen Sommertag, zu entsprechen.<sup>1</sup>

Man kann nun sagen, die Klengluft sei bis zum äussersten ausgenützt, wenn sie bei der Grenztemperatur dem Klengschacht entweicht. Ihr Wärmeverrat ist zwar lange nicht ausgenützt, der Rest kann aber nur gewonnen werden, wenn gleichzeitig Wasser ausfällt. Falls also der Punkt, wo die Luft die Grenztemperatur erreicht, schon irgendwo im Klengschacht liegt, so wäre der Raum über diesem Punkt nutzlos, wenn die Zapfen mit der Grenztemperatur aufgefüllt werden; wenn sie kälter aufgefüllt werden, so wird der stationäre Zustand gestört, und damit sich Wasser nicht im Schacht ansammle; muss der Luftstrom kräftiger oder die Auffüllung frischer Zapfen langsamer gemacht werden, bis die Luft wieder bei der Grenztemperatur entweicht. Wenn die Ergebnisse verschiedener Klengungsbedingungen miteinander verglichen werden sollen, ist es offenbar angebracht, dies unter der Voraussetzung zu tun, dass die Klengluft in den verschiedenen betrachteten Fällen gleich gut ausgenützt wird. Sonst werden alle Vergleiche fliessend. Bis auf weiteres werden wir annehmen, dass die Klengluft praktisch genommen vollständig, d. h. bis zur Grenztemperatur, ausgenützt werde (exakt wird dies niemals der Fall sein). Zwischen der Eingangstemperatur unten und der Grenztemperatur oben fällt die Temperatur nach einer Kurve, die für die Eingangstemperatur und den Eingangsfeuchtigkeitsgehalt der Klengluft charakteristisch, dagegen von der Höhe des Klengschachts und der Geschwindigkeit des Luftstromes unabhängig ist. Die Geschwindigkeit des Luftstromes muss nämlich nach der Höhe des Schachts einjustiert werden, wenn die Verhältnisse, die wir betrachten, obwalten sollen. Die Klengzeit wird dann auch praktisch nur von der Eingangstemperatur und dem Eingangswassergehalt der Klengluft bestimmt, wenn die Geschwindigkeit der Luft so gross ist, dass die in den verschiedenen Höhen des Schachts obwaltenden Temperaturen praktisch voll ausgenützt sind (vgl. oben, S. [15]; m. a. W., die Erwägung fordert, dass der Schacht eine gewisse Minimihöhe hat; wie gross diese zu veranschlagen ist, ist schwer zu sagen. Unter dieser Minimihöhe muss die Klengzeit verkürzt werden, wenn der Schacht höher gemacht wird, weil die Ventilation kräftiger wird; hohe Schächte sind also prinzipiell vorzuziehen). Die lineare Geschwindigkeit der Zapfen von oben nach unten wird proportional der Höhe des Schachts sein. In einem doppelt so hohen Schacht werden also doppelt so viel Zapfen pro Stunde geklengt (bei gleichem Durchmesser der Schächte), die Klengzeit aber wird gleich.

Der absolute Feuchtigkeitsgehalt der bei der Grenztemperatur entweichenden Klengluft, mit Abzug ihrer Eingangsfeuchtigkeit, gibt Aufschluss über die grösste Wassermenge, die pro Zeiteinheit von einem Luftstrom von bestimmter Stärke aus dem Schacht fortgeführt werden kann, und also auch von der höchstmög-

<sup>1</sup> Die Berechnungen sind so vollständig und damit so genau gemacht worden, wie es mit vorliegenden Daten möglich ist. Folgende Konstanten sind verwendet worden: Spezif. Wärme der Luft (auch der bei 15° gesättigten) bei konst. Druck 0,24, Verdampfungswärmen des Wassers bei den versch. Grenztemperaturen interpoliert nach der Tabelle AMES' in CHWOLSON S. 656, totale Quellungswärme der Trockensubstanz 16,9 kal., d:o bei 6,67 % Wassergehalt (auf die Trockensubstanz bezogen) 10,2 kal., spezif. Wärme den trocknen Zapfen 0,3 (VOLBEHR 1896). Die Daten für Wassergehalt und Sättigungsdrucke bei versch. Temperaturen nach LANDOLT-BÖRNSTEINS Tabellen. Totaldruck immer = 760 mm Hg angenommen.

lichen Leistungsfähigkeit des Schachts bei gegebener Stärke, aber verschiedener Eingangstemperatur des Luftstromes (vgl. Tab. 1, S. [11]). Die Fähigkeit der entweichenden Luft, Wasser fortzuführen, wird wie die Tabelle zeigt bei erhöhter Eingangstemperatur viel langsamer wie die Verdunstungsgeschwindigkeit in den untern, bedeutsamsten Teilen des Schachts (vgl. Fig. 1) vergrößert. Es folgt, dass wenn man bei gegebener Stärke des Luftstromes die Eingangstemperatur vergrößert, die Klengluft sich tiefer unten in dem Schacht als zuvor der (neuen) Grenztemperatur zu nähern beginnen muss. Die Klengluft wird also besser, der Klengraum aber schlechter ausgenützt als zuvor. Um einen mit dem vorigen vergleichbaren Zustand zu erhalten, muss bei der höheren Temperatur die Geschwindigkeit des Luftstromes vergrößert werden. Auch nachdem so geschehen ist, wird jedoch die Klengzeit nicht in demselben Verhältnis verkürzt werden wie die Kurven Fig. 1 angeben. Eine Verkürzung in diesem Verhältnis wird man nämlich nur in der alleruntersten, der Eingangstemperatur ausgesetzten Horde erwarten können. Nach oben zu wird die Vergrößerung der Verdampfungsgeschwindigkeit immer kleiner. Die bei kontinuierlichem Betrieb nach dem Gegenstromprinzip durch Erhöhung der Eingangstemperatur erreichbare Verkürzung der Klengzeit liegt also zwischen der, die Fig. 1 anzeigt, und der, die sich aus der Tab. 1 für konstante Stärke des Luftstromes berechnen lässt.

**Vervollkommnungsmöglichkeiten.** Praktisch wird man in dem Klengschacht die Klengluft nicht einmal bis zur Grenztemperatur ausnützen können (es würde dies eine Verschwendung an Raum bedeuten), und eine Ausnützung über diesen Punkt hinaus ist, wie oben dargelegt, gänzlich ausgeschlossen. Es gibt aber eine andere Möglichkeit, die zu versuchen es sich wahrscheinlich lohnen würde. Es wäre dies, die verbrauchte Klengluft einen nach dem Gegenstromprinzip gebauten Temperaturwechsler passieren zu lassen, in der sie an die Einsaugluft und eventuell die Zapfen, ohne mit jener bzw. diesen in Berührung zu kommen, möglichst viel ihrer Wärme abgibt. Mit dieser Anordnung würde man auch einen Teil der als Verdampfungswärme gebundenen Wärme wiedergewinnen können. Das Kondenswasser kann bei dieser Einrichtung abgeleitet werden und schadet also nicht. Theoretisch wäre eine nicht unbeträchtliche Verbesserung der Wärmeökonomie in dieser Weise möglich. Gesetzt, die Einsaugluft habe die Temperatur von  $-10^{\circ}$  C. und sei praktisch wasserfrei. (Das Klengen geht vielfach im Winter vor sich.) Bei  $50^{\circ}$  Eingangstemperatur der Klengluft ist dann die Grenztemperatur etwa  $17^{\circ}$  (Fig. 2). Durch Vorwärmen der Einsaugluft von  $-10^{\circ}$  auf  $+17^{\circ}$  mittels der entweichenden Klengluft würde man  $(10 + 17) : (10 + 50) = 45\%$  an Brennmaterial ersparen. Der Wärmevorrat der feuchten  $17$ -gradigen Abluft wäre damit lange nicht erschöpft, ein Teil der Abluft kann also zweckmässig abgezweigt werden und z. B. zum Vorwärmen der kalten Zapfen dienen. Andererseits mag es wegen der Reibbildung in der Praxis Schwierigkeiten bereiten, die Wärme der feuchten Luft weiter als bis zu  $0^{\circ}$  hinab auszunützen, so dass das praktisch erreichbare Ersparnis an Brennmaterial im gegebenen Beispiel vielleicht nicht höher als zu rund  $30\%$  zu veranschlagen ist.

Nach den Klengversuchen Verf:s (a. a. O., 1925) zu urteilen, kann man in kontinuierlich nach dem Gegenstromprinzip wirkenden Klenganstalten, wie der in Borlänge, wesentlich höhere Eingangstemperaturen gebrauchen als die,

besonders für Fichtenzapfen, üblichen, ohne dass sich der geringste Schaden in den Keimprozenten kundgibt. Wenn die dadurch gegebenen Möglichkeiten zur Verkürzung der Klengzeit ausgenützt werden sollen, dürfte es sich empfehlen, zu automatischen Vorrichtungen für die Beförderung der Zapfen nach unten zu übergehen. Wenigstens in Borlänge sind die Vorrichtungen zum Wechsel der Horden so zeitraubend, dass eine Verkürzung der Klengzeit gegen die jetzt übliche — 10 Stunden — nicht ohne Verdoppelung des Bedienungspersonals möglich wäre. Verf. macht einen Vorschlag einer automatischen kontinuierlichen Klengge, die sich billig ausführen liesse.

---