## 4.3 Stoom

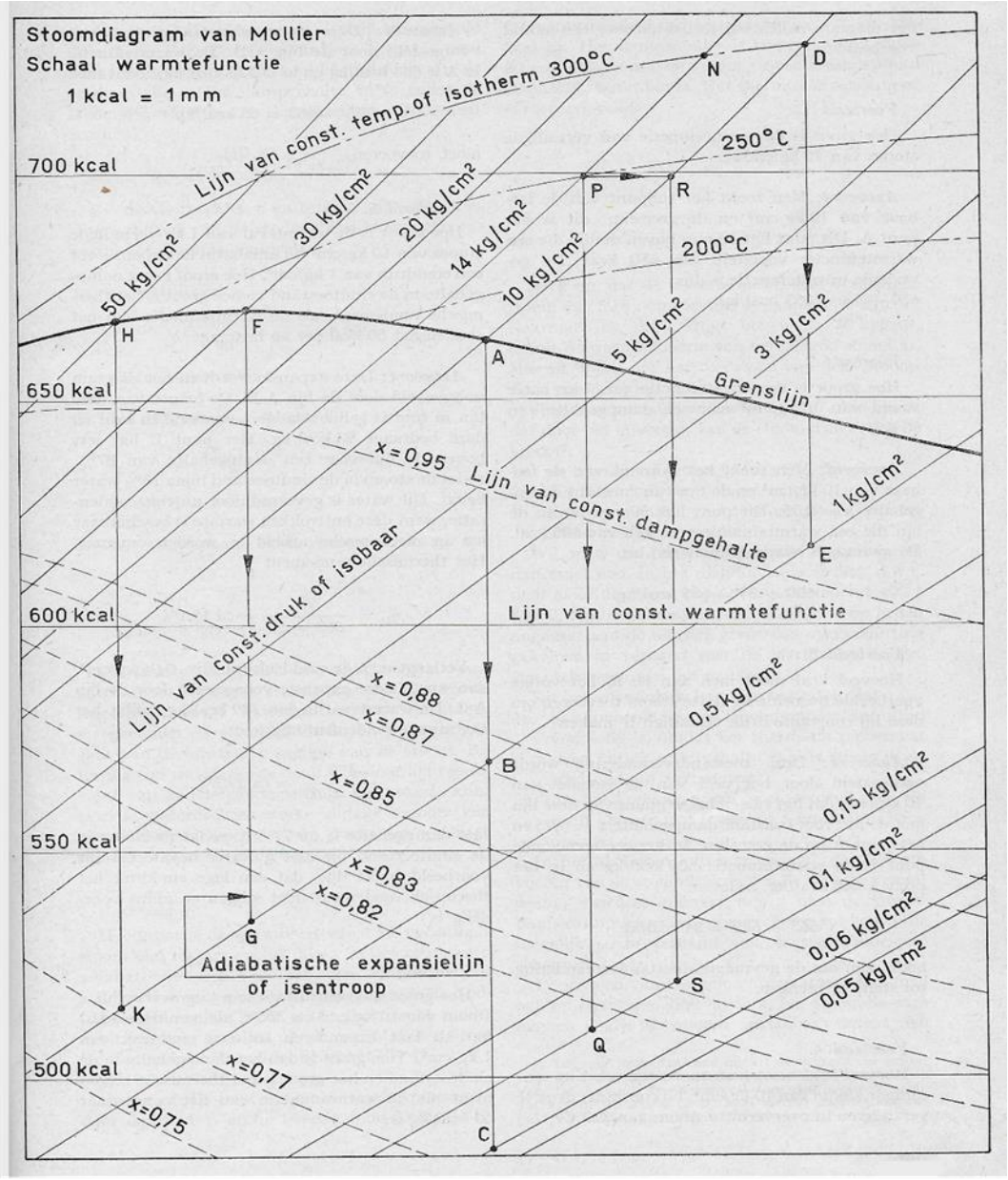
Stoom is de energiedrager en transportmiddel van warmte voor de stoommachine. De in de stoom opgeslagen energie wordt in de stoommachine omgezet in arbeid. Deze arbeid wordt bij een gemaal aangewend om polderwater te verpompen.

Stoom is de gasvormige aggregatietoestand van wateren wordt verkregen door water te verhitten of de druk boven het vloeistofoppervlak te verlagen. Onder atmosferische omstandigheden kookt water bij ongeveer 100 ºC. Als men de druk verlaagt dan wel verhoogt zal dit bij respectievelijk een lagere dan wel een hogere temperatuur plaatsvinden. Wanneer water kookt, en bij welke temperatuur, is berekend dan wel proefondervindelijk vastgesteld en wordt cijfermatig tot achter de komma in zogeheten stoomtabellen aangegeven. Dezelfde waarden kunnen met behulp van gekleurde lijnen in een diagram weergegeven worden; het zogeheten Mollier diagram. Het aflezen van de waarden in een Mollier diagram is minder nauwkeurig vergeleken met de waarden in de stoomtabel en vereist bovendien enige oefening.

Ten onrechte wordt de benaming stoom gegeven aan een nevel van water zoals bijvoorbeeld de kleine zichtbare druppeltjes water boven een fluitketel. Echte stoom, ook wel waterdamp genoemd, is onzichtbaar en bovendien reukloos. Stoomlekkages kun je daarom het beste opsporen met een aan een steeltje bevestigt metalen spiegeltje. De uit het lek ontsnappende stoom condenseert dan op het koude spiegel- oppervlak en geeft zodoende aan waar het lek zit. Geoefende machinisten gebruiken hiervoor vaak, zij het niet altijd succesvol, de rug van hun blote hand.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Druk in ata | Druk in lbs/□″ | Stoomtem-peratuur °C | Volume in m³/kg | Gewicht in kg/m³ | En-thal-pie kcal/kg | Verdampings-warmte totaal kcal/kg |
| 0,1 | 1,42 | 45,5 | 14,95 | 0,067 | 617,0 | 571,6 |
| 0,2 | 2,84 | 59,7 | 7,80 | 0,128 | 623,1 | 563,5 |
| 0,3 | 4,27 | 68,9 | 5,33 | 0,188 | 626,6 | 558,2 |
| 0,4 | 5,69 | 75,4 | 4,07 | 0,246 | 629,5 | 554,1 |
| 0,5 | 7,11 | 80,9 | 3,30 | 0,303 | 631,6 | 550,8 |
| 0,6 | 8,53 | 85,6 | 2,78 | 0,359 | 633,4 | 548,0 |
| 0,7 | 9,96 | 89,4 | 2,41 | 0,415 | 634,9 | 545,5 |
| 0,8 | 11,38 | 93,0 | 2,13 | 0,470 | 636,2 | 543,2 |
| 0,9 | 12,80 | 96,2 | 1,90 | 0,525 | 637,4 | 541,2 |
| 1,0 | 14,2 | 99,1 | 1,725 | 0,58 | 638,5 | 539,4 |
| 2 | 28,4 | 119,6 | 0,902 | 1,11 | 645,8 | 525,9 |
| 3 | 42,7 | 132,9 | 0,617 | 1,62 | 650,3 | 516,9 |
| 4 | 56,9 | 142,9 | 0,471 | 2,12 | 653,4 | 508,8 |
| 5 | 71,1 | 151,1 | 0,382 | 2,62 | 655,8 | 503,7 |
| 6 | 85,3 | 158,1 | 0,321 | 3,11 | 657,8 | 498,5 |
| 7 | 99,6 | 164,2 | 0,278 | 3,60 | 659,4 | 493,8 |
| 8 | 113,8 | 169,6 | 0,245 | 4,08 | 660,8 | 589,5 |
| 9 | 128,0 | 174,5 | 0,219 | 4,57 | 662,0 | 485,6 |
| 10 | 142,2 | 179,0 | 0,198 | 5,05 | 663,0 | 481,8 |
| 11 | 156,5 | 182,3 | 0,181 | 5,53 | 663,9 | 478,3 |
| 12 | 170,7 | 187,1 | 0,166 | 6,01 | 664,7 | 475,0 |
| 13 | 184,9 | 190,7 | 0,154 | 6,49 | 665,4 | 471,9 |
| 14 | 199,1 | 194,1 | 0,143 | 6,97 | 666,0 | 468,9 |
| 15 | 213,3 | 197,3 | 0,134 | 7,45 | 666,6 | 466,0 |
| 16 | 227,6 | 200,4 | 0,126 | 7,92 | 667,1 | 463,2 |
| 17 | 241,8 | 203,3 | 0,119 | 8,40 | 667,5 | 460,4 |
| 18 | 256,0 | 206,1 | 0,113 | 8,89 | 667,9 | 457,8 |
| 19 | 270,2 | 208,8 | 0,107 | 9,37 | 668,2 | 455,2 |
| 20 | 284,5 | 211,4 | 0,102 | 9,85 | 668,5 | 452,7 |
| 25 | 355,5 | 222,9 | 0,081 | 12,26 | 669,4 | 440,9 |
| 30 | 426,7 | 232,8 | 0,068 | 14,70 | 669,7 | 430,2 |
| 35 | 497,8 | 241,4 | 0,058 | 17,18 | 669,5 | 420,1 |
| 40 | 568,9 | 249,2 | 0,051 | 19,69 | 669,0 | 410,8 |
| 45 | 639,9 | 256,2 | 0,045 | 22,25 | 668,2 | 401,7 |
| 50 | 711,1 | 262,7 | 0,040 | 24,85 | 667,3 | 393,1 |
| 60 | 853,3 | 274,3 | 0,033 | 30,21 | 665,0 | 376,6 |
| 70 | 995,5 | 284,5 | 0,028 | 35,78 | 662,1 | 361,2 |
| 80 | 1138 | 293,6 | 0,024 | 41,60 | 658,9 | 346,3 |
| 90 | 1280 | 301,9 | 0,021 | 47,71 | 655,1 | 331,5 |
| 100 | 1422 | 309,5 | 0,018 | 54,21 | 651,1 | 317,1 |

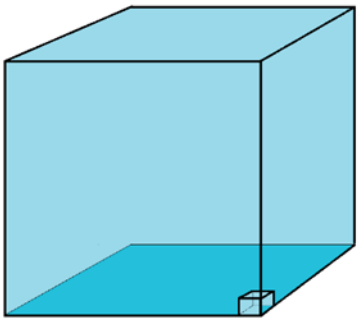
**Stoomtabel volgens Dr. W Koch V.D.I. Wasserdampftafeln 1937**




**Mollierdiagram**

### 4.3.1 Stoomvolume

Uit de stoomtabel kan worden afgeleid dat het volume van stoom gevormd uit één liter water (1 kg) bij atmosferische druk ongeveer 1.700 liter bedraagt. Dit betekent dat als er een lek ontstaat, bijvoorbeeld in de vuurgang van de ketel, de hete waterinhoud van de stoomketel door de stoomdruk naar buiten wordt geperst en spontaan overgaat in stoom. De uitwerking en de gevolgen hiervan laten zich gemakkelijk raden en zijn de reden dat het in werking hebben van stoomketels in het algemeen en het waterhoudende gedeelte daarvan in het bijzonder, aan strenge regels is gebonden. Met behulp van de hieronder getoonde kubussen wordt het enorme verschil in volume van de stoom die is gevormd uit een liter water en het volume van de oorspronkelijke liter water, weergegeven..



**Volume verhouding water -stoom**

### 4.3.2 Stoomsoorten

Met betrekking tot stoom worden de volgende soorten onderscheiden:

**Natte stoom**

Natte stoom is stoom waarin kleine waterdeeltjes zweven. Deze soort stoom ontstaat in de stoomruimte van de ketel bij het opstoken. Indien natte stoom verhit wordt, dan zullen allereerst deze waterdeeltjes verdampen. Bij voldoende verwarming maar ook bij drukverlaging raakt deze stoom verzadigd. Natte stoom kan ook ontstaan bij het opkoken van de stoomketel en afkoeling in leidingsystemen. Ook in de stoommachine zijn er tijdens het arbeidsproces momenten dat de stoom condenseert of verdampt. Te natte stoom kan in een stoommachine leiden tot waterslag en dientengevolge ernstige schade.

**Verzadigde stoom**

Wanneer in een gesloten ruimte water en stoom met elkaar in evenwicht zijn noemt men de stoom verzadigd. De ruimte boven het wateroppervlak in de stoomketel bevat dan de maximaal mogelijke hoeveelheid stoomdeeltjes. De druk van de stoom wordt bepaald door de temperatuur van het water en de stoom. De druk is gelijk aan de maximale dampspanning welke bij die temperatuur hoort. Verzadigde stoom condenseert bij verlaging van de temperatuur of verhoging van de druk. Deze stoom is vanwege de zogenoemde snijdende werking ongeschikt voor het aandrijven van een stoomturbine, maar voldoet prima voor het aandrijven van een stoommachine of voor de overdracht van warmte.

**Oververhitte stoom**

Oververhitte stoom noemt men in de natuurkunde ook wel “Onverzadigde stoom”. Om oververhitte stoom te maken moet er extra warmte aan de stoom worden toegevoegd. In een fluitketel kan dat niet, omdat daar alleen het water wordt verwarmd. De temperatuur van de gevormde stoom blijft bij de temperatuur die hoort bij de maximale dampspanning dus ongeveer 100 ºC.

In een stoomketel gebeurt hetzelfde, echter de geproduceerde verzadigde stoom wordt eerst door een zogenoemde oververhitter geleid. De verzadigde stoom stijgt in temperatuur bij gelijkblijvende druk en wordt dan oververhitte stoom genoemd. Bij verlies van warmte, bijvoorbeeld in de transportleiding naar de stoommachine, zal deze stoom afkoelen zonder dat er direct minuscule waterdruppeltjes ontstaan. Een ander maar minstens zo belangrijk feit is dat de warmte-inhoud van oververhitte stoom groter is dan die van verzadigde stoom en daardoor meer energie per kg bevat.

### 4.3.3 Warmte inhoud

Om aan een stoominstallatie te kunnen rekenen of om bepaalde prestaties hiervan te kunnen inschatten is het belangrijk de warmte-inhoud of enthalpie van de toegepaste stoomsoort te kennen. Deze waarden kunnen in de stoomtabel worden opgezocht of uit het Mollier diagram worden gehaald. Als men niet over een tabel of diagram beschikt kan men met de formule van Regnault vrij nauwkeurig de warmte inhoud van verzadigde stoom berekenen. Deze formule luidt als volgt:

$$\mathrm{Wstoom} = 606{,}5 + 0{,}305 \text{ x t } \left[\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}\right]$$

$W_{stoom}$ is de berekende warmte-inhoud of enthalpie uitgedrukt in kcal/kg van verzadigde stoom met een temperatuur van t graden Celsius. Passen we deze formule toe op bijvoorbeeld verzadigde stoom met een temperatuur van 194,1 ºC dan is de uitkomst 665,7 kcal/kg. De stoomtabel geeft hiervoor 666,0 kcal/ kg en een absolute stoomdruk van 14 kg/cm$^2$. De druk die de manometer op de stoomketel aangeeft is altijd de overdruk ten opzichte van de atmosferische druk en bedraagt in dit geval 13 kg/cm$^2$.