

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 69 (1991)

Heft: 6

Artikel: Rauscharmer Transistorverstärker für Satellitenbodenstationen

Autor: Alberty, Michael / Kück, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876296>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Rauscharmer Transistorverstärker für Satellitenbodenstationen

Michael ALBERTY und Peter KÜCK, Backnang

1 Einleitung

Die Empfangsqualität von Satellitenbodenstationen wird durch das Verhältnis von Antennengewinn G zu Rauschtemperatur T bestimmt. Eine hohe Qualität, d. h. ein grosses Verhältnis G/T , lässt sich deshalb über einen grossen Antennengewinn oder eine niedrige Rauschtemperatur des Empfangssystems erreichen. Der Erhöhung des Antennengewinns, der sich proportional zur Fläche des Parabolspiegels verhält, sind jedoch gewisse Grenzen gesetzt. Eine grosse Spiegelfläche führt zu einem kleinen Öffnungswinkel und erfordert eine aufwendige mechanische Konstruktion. Deshalb ist es in vielen Fällen günstiger, die Rauschtemperatur des Empfangssystems, die im wesentlichen durch den Eingangsverstärker bestimmt wird, zu reduzieren.

Rauscharme Eingangsverstärker für Satellitenbodenstationen waren lange Zeit fast ausschliesslich parametrische Verstärker, die je nach Anforderung gekühlt oder ungekühlt betrieben wurden. Diese wurden aber mit der Verfügbarkeit rauscharmer GaAs-Feldeffekttransistoren (GaAs-FET) immer mehr durch FET-Verstärker verdrängt [1]. Wenn die Rauschtemperatur eines FET-Verstärkers bei Umgebungsbedingungen nicht ausreicht, wendet man Kühlverfahren an, um die Rauschtemperatur zu reduzieren [2].

Die Verkürzung der Gate-Elektrodenlängen bis auf $0,25\ \mu\text{m}$ und die Verwendung von FET mit Mehrschichtstrukturen (High Electron Mobility Transistor = HEMT) ermöglichten in den letzten Jahren weitere deutliche Reduktionen der Rauschtemperatur [3], so dass heute auch bei Empfangsfrequenzen von 20 GHz in den meisten Fällen auf eine Kühlung des rauscharmen Vorverstärkers verzichtet werden kann.

Der beschriebene HEMT-Verstärker wurde für eine 20/30-GHz-Versuchsbodenstation der Schweizerischen PTT-Betriebe entwickelt. Im Empfangsfrequenzbereich von 18,8 GHz bis 20,2 GHz wird eine Rauschtemperatur von höchstens 300 K bei einer Verstärkung von mindestens 40 dB benötigt.

2 Verstärkerkonzept

Figur 1 zeigt das Blockschaltbild des vollständigen HEMT-Verstärkers. Er unterteilt sich in SHF-Verstärker sowie in Stromversorgung und Steuerung.

Die Bezeichnung SHF-Verstärker wird für den gesamten Mikrowellenteil verwendet. Dieser ist am Eingang und am Ausgang mit einer Richtungsleitung (Zirkulator mit Abschlusswiderstand) abgeschlossen. Die Richtungsleitung am Eingang ist erforderlich, weil die erste Verstärkerstufe aufgrund der Rauschanpassung keine ausreichende Rückflussdämpfung aufweist. Am Ausgang wird trotz Leistungsanpassung eine Richtungsleitung benötigt, um im gesamten Frequenz- und Temperaturbereich die geforderte Rückflussdämpfung einzuhalten.

Für den eigentlichen Verstärker wurde aus prüf- und fertigungstechnischen Gründen eine Modulbauweise gewählt. Drei unmittelbar in Reihe geschaltete Module erzeugen die gewünschte Verstärkung. Jedes Modul ist mit zwei HEMT bestückt.

Das erste Modul ist auf kleinstmögliches Rauschen optimiert. Das zweite und das dritte Modul sind zwar äusserlich identisch zum ersten, jedoch auf maximale Verstärkung abgeglichen.

Der Schaltungsteil «Stromversorgung und Steuerung» liefert die Versorgungsspannungen für die einzelnen Verstärkerstufen, wobei für jede Stufe eine eigene Regelschaltung zur Erzeugung der Gate- und Drain-Spannungen vorgesehen ist. Die Arbeitspunkte der dritten, vierten und fünften Verstärkerstufe werden temperaturabhängig eingestellt. Damit wird der Temperaturgang der Verstärkung kompensiert, der ohne diese Massnahme etwa 8...9 dB bei einer Temperaturdifferenz von 75 K betragen würde.

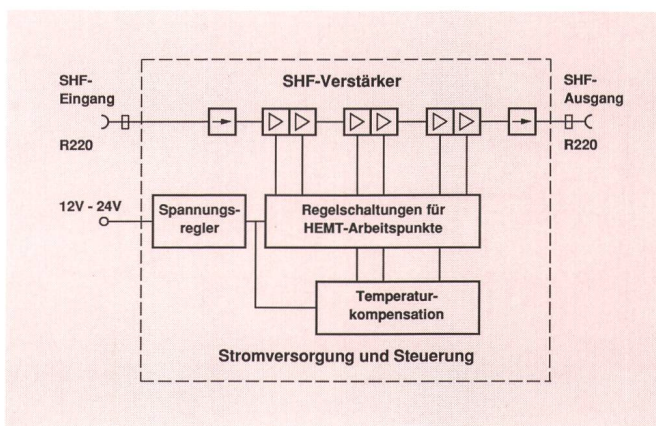


Fig. 1 Blockschaltbild des 20-GHz-HEMT-Verstärkers

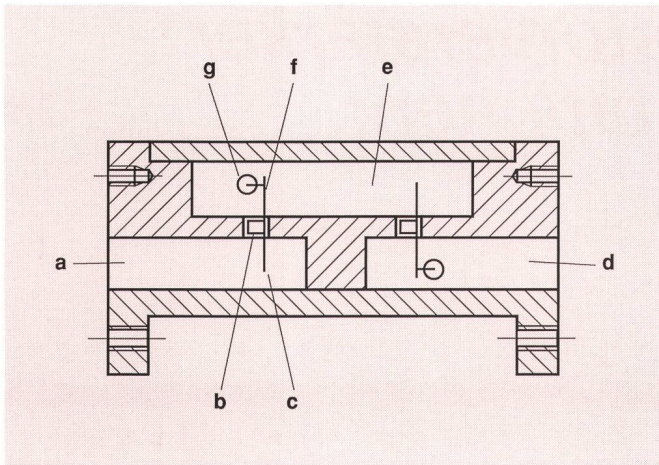


Fig. 2 Verstärkermodul, schematische Darstellung

- a) Eingangshohlleiter
- b) HEMT
- c) Gate
- d) Ausgangshohlleiter
- e) Verbindungshohlleiter
- f) Drain
- g) Durchführungsfilter

3 Verstärkermodul

Der Aufbau und die Funktionsweise der Verstärkermodule werden anhand des rauscharmen Moduls erläutert.

Das rauscharme Modul am Eingang bestimmt überwiegend die Rauschtemperatur des Gesamtverstärkers. Der erste HEMT muss deshalb möglichst genau mit dem Quellenreflexionsfaktor Γ_{so} abgeschlossen werden, bei dem er seine minimale Rauschtemperatur erreicht. Wird der HEMT ausserhalb des Rauschminimums mit einem Reflexionsfaktor Γ_s betrieben, so ergibt sich eine Rauschtemperatur von

$$T = T_{\min} + (T_{50} - T_{\min}) \frac{|\Gamma_{so} - \Gamma_s|^2}{|\Gamma_{so}|^2 (1 - |\Gamma_s|^2)} \quad (1)$$

wobei T_{50} die Rauschtemperatur bei reflexionsfreier Quelle ($\Gamma_s = 0$) ist. Die erforderliche Transformationschaltung zur Erzeugung von Γ_{so} am HEMT-Eingang er-

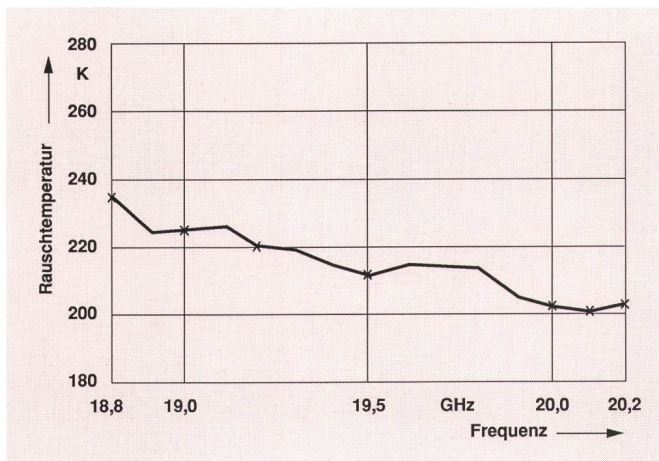


Fig. 3 Rauschtemperatur des rauscharmen Moduls

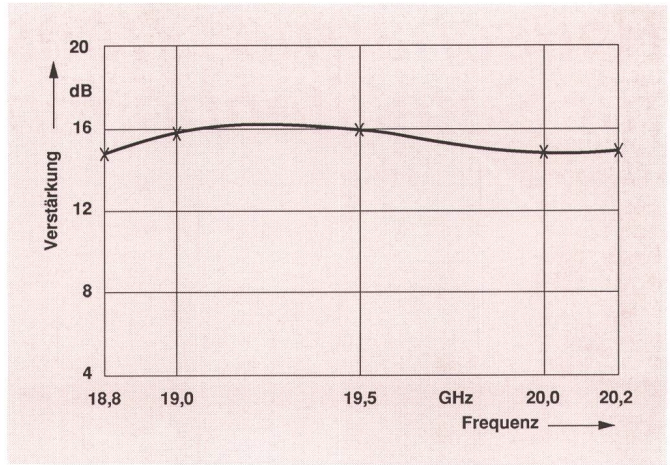


Fig. 4 Verstärkung des rauscharmen Moduls

gibt zwar die kleinstmögliche Rauschtemperatur T_{\min} , führt aber in der Regel zu einem von Null verschiedenen Reflexionsfaktor am Verstärkereingang und liefert damit auch nicht die maximal mögliche Leistungsverstärkung G_{\max} , sondern bei zusätzlicher Leistungsanpassung am Transistorausgang die verfügbare Leistungsverstärkung G . So ergeben sich beim verwendeten HEMT aus den Herstellerangaben $T_{\min} = 140$ K und $G = 6,8$ dB bei Rauschanpassung, verglichen mit $G_{\max} = 8,5$ dB bei Leistungsanpassung.

Weitere bestimmende Grössen für die Rauschtemperatur des Gesamtverstärkers sind die Dämpfung L vor der ersten Verstärkerstufe sowie die Rauschbeiträge der Folgestufen. Ist T_a die physikalische Temperatur der dämpfenden Komponenten am Verstärkereingang, so ergibt sich die Verstärkerrauschtemperatur gemäss

$$T = (L-1) T_a + L \left(T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \dots \right) \quad (2)$$

mit den Rauschtemperaturen T_1, T_2, \dots und den verfügbaren Verstärkungen G_1, G_2, \dots der einzelnen Stufen. Neben einer Rauschanpassung zumindest der ersten beiden Stufen kommt also auch der Minimierung der Eingangsdämpfung entscheidende Bedeutung zu. Aus die-

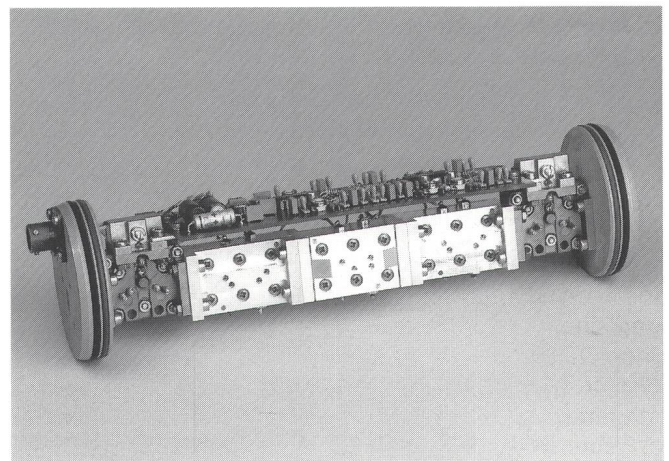


Fig. 5 Verstärker ohne Gehäuse

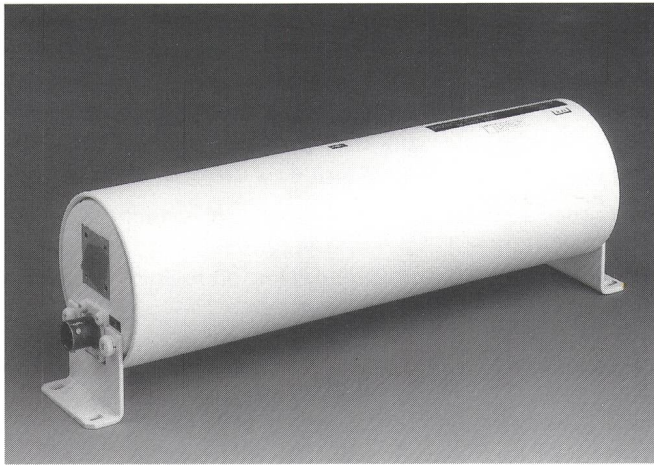


Fig. 6 Verstärker im druckdichten Gehäuse

sem Grund wurden hier nicht nur für die Eingangsrichtungsleitung, sondern auch für die Transformations-schaltungen dämpfungsarme Hohlleiterlösungen gewählt.

Die Funktionsweise der zweistufigen Verstärkermodule in Hohlleitertechnik wird anhand von *Figur 2* erläutert. Jeder HEMT (b) ist mit seinen Source-Anschlüssen in eine Öffnung der Trennwand zwischen zwei Hohlleiterkanälen eingelötet. Die Gate- und Drain-Anschlussfahnen (c, f) des Transistorgehäuses ragen als Antennen in diese Kanäle und ermöglichen so eine Ankopplung an die elektromagnetischen Felder in den Hohlleitern. Vom Eingang (a) des Verstärkermoduls wird das Empfangssignal auf den ersten HEMT gekoppelt, von diesem verstärkt und in den Verbindungshohlleiter (e) eingespeist. Nach Verstärkung durch den zweiten HEMT wird das Signal über den Hohlleiter (d) zum Ausgang des Verstärkermoduls geführt. Wie aus *Figur 2* zu entnehmen ist, wurde durch Anordnung der Hohlleiter in zwei Ebenen eine sehr kompakte Bauweise des Moduls erzielt.

Die Gleichspannung wird über dünne Drahtverbindungen von den Durchführungsfiltern (g) zu den Gate- und Drain-Anschlüssen geführt. Die erforderlichen Transformationen zur Rausch- bzw. Leistungsanpassung werden durch eine geeignete Wahl der Hohlleiterlängen und der Eintauchtiefen der Antennen eingestellt. Ein Feinabgleich, der aufgrund von Streuungen der HEMT-Parameter kaum vermeidbar ist, kann bei der verwendeten Technologie auf einfache und damit kostengünstige Weise mit Hilfe von Abgleichschrauben in Antennen-nähe durchgeführt werden.

In den *Figuren 3* und *4* sind die gemessene Rauschtemperatur und Verstärkung eines solchen zweistufigen Moduls als Funktion der Frequenz dargestellt. In diesem Fall wurde die Rauschtemperatur des Moduls auf einen optimalen Wert von 200 K bei einer Frequenz von 20 GHz abgeglichen. Berücksichtigt man eine durchaus realistische Dämpfung von insgesamt 0,3 dB für die Eingangstransformation und die Gleichspannungszuführung, so stimmt der gemessene Wert mit der aus den Herstellerangaben unter Verwendung von (2) berechneten minimalen Rauschtemperatur mit einer Genauigkeit von 2 K überein.

Tabelle 1. Geforderte und erreichte Daten des 20-GHz-HEMT-Verstärkers.

Parameter	gefordert	erreicht (Messwerte)
Frequenzbereich	18,8...20,2 GHz	
Temperaturbereich	-20...+55 °C	
Verstärkung, nominal	≥ 40 dB	≥ 41,1 dB
Verstärkungsänderung im Frequenzbereich	± 1,5 dB max	± 0,8 dB
Verstärkungsänderung im Temperaturbereich	± 2,0 dB max	± 1,6 dB
Rauschtemperatur bei Raumtemperatur im Frequenzbereich	≤ 300 K	≤ 270 K
Gruppenlaufzeitänderung	≤ 2,0 ns	0,7 ns
Interceptpunkt 3. Ordnung	≥ 17 dBm	≥ 18 dBm
Rückflussdämpfung am SHF-Eingang	≥ 20 dB	≥ 22 dB
Rückflussdämpfung am SHF-Ausgang	≥ 20 dB	≥ 27 dB
Versorgungsspannung	12...24 V	
Stromaufnahme		170 mA

4 Gesamtverstärker

Figur 5 zeigt den 20-GHz-HEMT-Verstärker ohne Gehäuse. Die beiden Richtungsleitungen (Zirkulatoren) sowie die drei Verstärkermodule sind kettenförmig in Serie

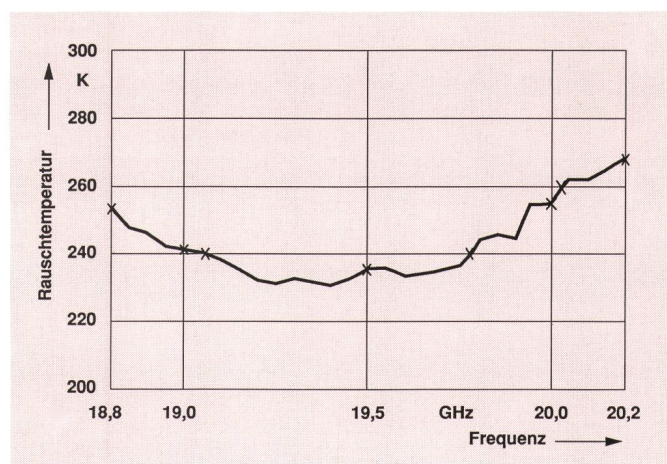


Fig. 7 Gesamtrauschtemperatur

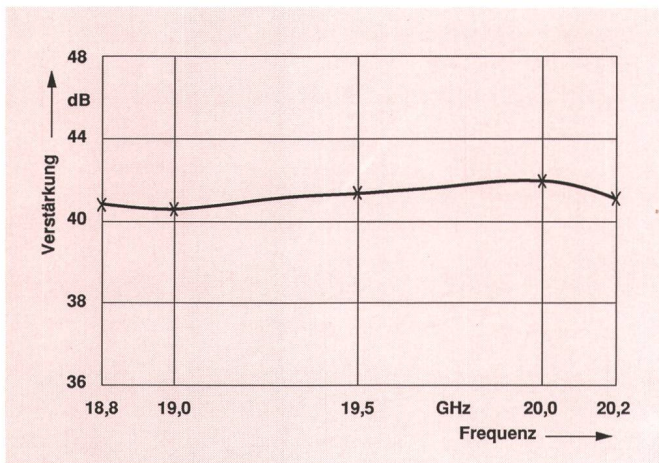


Fig. 8 Gesamtverstärkung

geschaltet. Der Verstärkerteil «Stromversorgung und Steuerung» ist in konventioneller Technologie unter Verwendung einer Leiterkarte aufgebaut und mit der Verstärkerkette verschraubt.

Der komplette Verstärker wird in ein rohrförmiges, wetterfestes Gehäuse eingebaut (Fig. 6). Das Gehäuse ist druckdicht und wird über die Hohlleiteranschlüsse vom Antennensystem mit trockener Luft belüftet, um Betauung zu verhindern.

In den Figuren 7 und 8 sind Rauschtemperatur und Verstärkung des Gesamtverstärkers dargestellt. Der Verstärker wurde auf möglichst breitbandiges Verhalten abgeglichen und weist im ganzen Frequenzbereich eine Rauschtemperatur von weniger als 270 K auf. Die gemessene Verstärkung beträgt $41,2 \text{ dB} \pm 0,8 \text{ dB}$.

In Tabelle I sind die geforderten und erreichten Daten des 20-GHz-HEMT-Verstärkers einander gegenübergestellt. Die Forderungen werden in allen Punkten erfüllt und in einigen deutlich übertroffen.

Adresse der Autoren: ANT Nachrichtentechnik
Gerberstrasse 33
D-7150 Backnang

Bibliographie

- [1] Ohm G., Alberty M. Rauscharmer 12-GHz-FET-Verstärker für Erdefunkstellen, Nachrichtentechnische Zeitschrift, Mai 1985.
- [2] Ohm G., Alberty M. Cryogenically cooled 20 GHz FET amplifier, Space Communication and Broadcasting, July 1987.
- [3] Glandorf F.-J., Kück P. 30 GHz low-noise HEMT amplifier for satellite applications, First European Conference on Satellite Communications, Munich, November 1989.

Zusammenfassung

Rauscharmer Transistorverstärker für Satellitenbodenstationen

Die Autoren beschreiben Konzept, Aufbau und Wirkungsweise eines rauscharmen Verstärkers, der für den Einsatz als Eingangsverstärker in einer 20/30-GHz-Satellitenbodenstation entwickelt wurde. Im Verstärker werden Feldeffekt-Transistoren mit Mehrschichtstrukturen (High Electron Mobility Transistor HEMT) eingesetzt, womit eine derart niedrige Rauschtemperatur erreicht wird, dass auf eine zusätzliche Kühlung verzichtet werden kann.

Résumé

Amplificateur transistorisé à faible bruit pour stations terrestres

Les auteurs décrivent le concept, la construction et le fonctionnement d'un amplificateur à faible bruit développé pour être utilisé comme amplificateur d'entrée dans une station terrestre 20/30 GHz. On utilise dans cet amplificateur des transistors à effet de champ dont la structure est à couches multiples (High Electron Mobility Transistor HEMT). Avec cet élément, la température de bruit est à tel point faible qu'il peut être renoncé à un refroidissement supplémentaire.

Riassunto

Amplificatore a transistori a basso rumore per stazioni terrestri per satellite

Gli autori descrivono il concetto, la struttura e il funzionamento di un amplificatore a basso rumore sviluppato per essere impiegato come amplificatore d'entrata in una stazione terrestre per satellite a 20/30 GHz. I transistori ad effetto di campo con strutture a più strati (High Electron Mobility Transistor HEMT) adoperati nell'amplificatore permettono di raggiungere una temperatura di rumore talmente bassa che si può rinunciare ad un raffreddamento supplementare.

Summary

Better Low noise Transistor Amplifiers for Satellite Earth Stations

The authors describe the concept, construction and mode of operation of a low noise amplifier which has been developed for the use as input amplifier in a 20/30 GHz satellite earth station. Multiple layer high electron mobility transistors (HEMT) are built in to the amplifier whereby such a low noise temperature is reached that an additional cooling is not required.