Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 21

Artikel: Eine flexible Bauweise mit guter Wärmeableitung

Autor: Zimmer, Christian

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903936

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: 04.02.2026

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

Eine flexible Bauweise mit guter Wärmeableitung

Ch. Zimmer

Eine grosse Menge Elektronikkomponenten kompakt zu verbauen und ausreichend zu kühlen, dies schafft eine neue Bauweise, welche ASIC, Dickschichtschaltungen, metallische Wärmeleitung und Siedekühlung kombiniert. Die erste Anwendung war eine Telexzentrale. Der thermische Entwurf wurde dabei konsequent parallel zum elektrischen ausgeführt. So entstand eine Bauweise, die neuen Anwendungen und neuen technologischen Entwicklungen offensteht.

Pour répondre à une densité de composants électroniques élevée et pour permettre un refroidissement suffisant de ceux-ci, on a développé un nouveau mode de construction, qui combine ASIC, circuits à couches épaisses, conduction métallique de la chaleur et refroidissement par évaporation. La première application a été réalisée avec un central télex. La partie thermique a été développée conséquemment en parallèle avec la partie électrique. Il en est résulté un mode de construction, qui reste à disposition pour de nouvelles applications et de nouveaux développements technologiques.

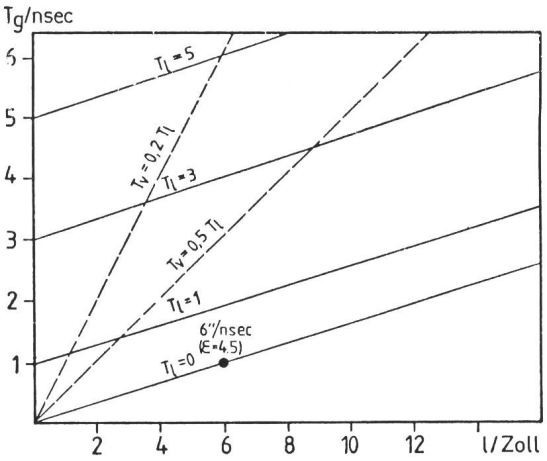
Adresse des Autors
Christian Zimmer, dipl. Phys. ETH, Forschungsabteilung, Hasler AG, 3000 Bern 14.

1. Einführung

Eine dichte Packung von Elektronik bei gleichzeitiger Erhöhung der Zuverlässigkeit ist besonders wichtig bei schnellen elektronischen Systemen (Fig. 1), komplexen Rechnern oder bei sehr grossem Elektronikvolumen.

Aus einer höheren Packungsdichte resultiert eine höhere Leistungsdichte und damit eine höhere Temperatur der Bauelemente, wenn keine Gegenmassnahmen getroffen werden. Diesem Trend entgegen wirken die verkleinerten Halbleiterstrukturen und die fast nur kapazitiv belastete CMOS-Logik (Fig. 2 und 3) [1]. Zusätzliche Funktionen in höher integrierten Chips und höhere Arbeitsgeschwindigkeit (Fig. 4) führen aber dazu, dass über alles die Leistung pro Baustein etwa konstant bleibt. Oft bestimmt sogar die maximal abführbare Leistung die maximale Komplexität oder Taktfrequenz eines IC (Fig. 3).

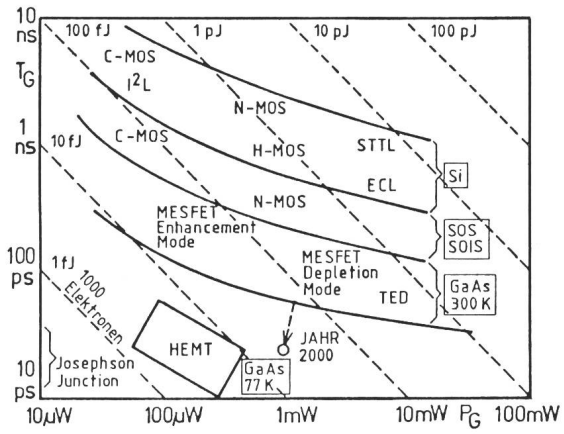
Gerade bei hochintegrierten Schaltungen mit sehr kleiner Schalt- oder Speicherenergie und kleinen Geometrien sollte die Betriebstemperatur tief sein, denn hohe Temperatur bedeutet vermehrte Anregung von zerstörenden physikalischen Prozessen oder von zu-



Figur 1 Signalverzögerung T_g in Abhängigkeit der Leitungslänge l

Die Schnittpunkte der ausgezogenen T_g-Linien mit den gestrichelten Linien ergeben für eine zulässige relative Signalverzögerung T_V/T_l die maximal zulässige Leitungslänge. Die Steigerung der T_g-Linien resultiert aus einer angenommenen Signalgeschwindigkeit auf Leiterplatten von 6″/nsec (ε = 4,5).

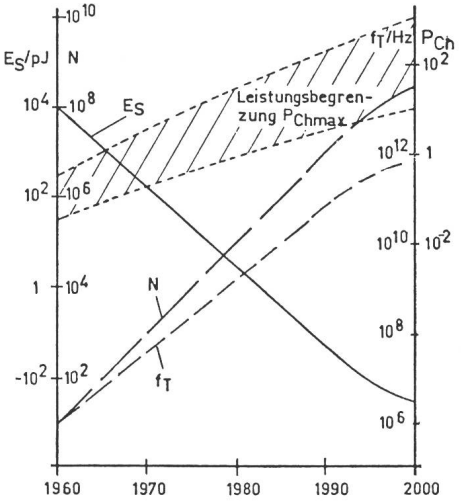
T_l Logische Verzögerung
T_V Verbindungsverzögerung
T_g Gesamtverzögerungszeit ($T_g = T_l + T_V$)



Figur 2 Zusammenhang zwischen Verlustleistung, Verzögerungszeit und Energie pro Schaltoperation für verschiedene Logikfamilien und Technologien

T_G Gatter-Verzögerungszeit
P_G Verlustleistung pro Gatter
E_S Schaltenergie als Parameter
□ Technologien

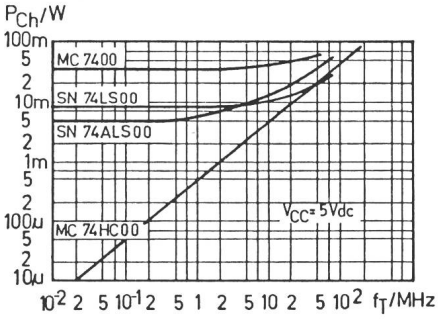
fälligen Funktionsfehlern. Zudem verändern sich auch die Schaltungsparameter, wie z. B. die Schaltzeiten (Fig. 5).



Figur 3 Entwicklung der Chipleistung

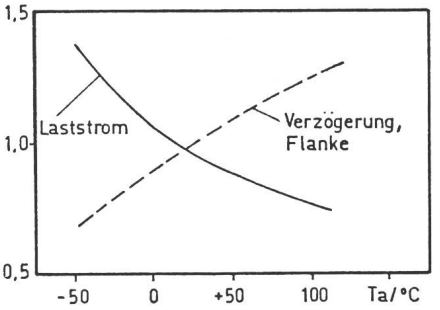
Die maximale Chipleistung nimmt infolge höherer Elementenzahl und Taktfrequenz zu, obwohl die Energie pro Logikoperation stark abnimmt

E_S	Chip-Schaltenergie, Leistung × Verzögerungszeit
N	Anzahl Elemente
f_T	Taktfrequenz
P_{Ch}	Chip-Verlustleistung [W]
$P_{Ch\,max}$	Max. abführbare Verlustleistung (schraffiert)



Figur 4 Chipleistung P_{Ch} in Funktion der Taktfrequenz f_T

Bei hohen Taktfrequenzen konsumiert HCMOS ähnliche Leistungen wie bipolare Chips.



Figur 5 Relative Parameter-Verschlechterung eines IC bei zunehmender Temperatur

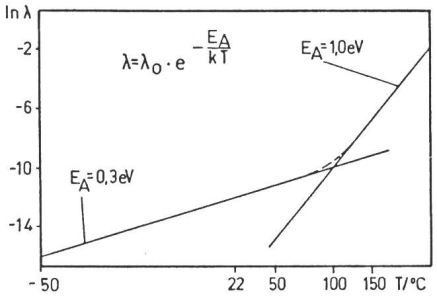
Die Beziehung von *Arrhenius* (Fig. 6) beschreibt, wie die Zerstörungsgeschwindigkeit (Ausfallrate) mit steigender Temperatur zunimmt. Die Aktivierungsenergie E_A ist die Schwelle, ab der ein physikalischer Prozess zerstörend wirkt (Fig. 7). Jeder dieser Prozesse hat eine andere Aktivierungsenergie. Deshalb muss z. B. beim beschleunigten Altern von Bauelementen darauf geachtet werden, dass nicht Prozesse dominant werden, welche bei Betriebstemperatur wegen ihres höheren E_A kaum wirksam sind. Der so gewonnene Beschleunigungsfaktor wäre dann irreführend.

Gründe sind also genügend vorhanden, die Betriebstemperatur möglichst tief zu halten. Aber wie? In der Literatur [2; 3] und teilweise auf dem Markt [4] sind eine Vielzahl von Vorschlägen zu finden. Auch an Konferenzen wird darüber verhandelt [5]. Der Grund für diese Vielfalt ist, dass die Randbedingungen je nach Einsatzgebiet sehr verschieden sind. So kann z. B. der Einsatz von Ventilatoren nicht möglich oder eine technisch gute Lösung zu teuer sein. Aufwendige Konstruktionen wie das «Thermal Conduction Module» von IBM [6] können nur firmenintern eingesetzt werden.

Im folgenden sei anhand einer neuentwickelten Bauweise [7] der Entwurf eines konsequenten Kühlkonzeptes skizziert, beginnend beim Bauelement, der Wärmequelle, und endend bei der Anlagekühlung, z. B. dem Leitungswasser oder der Aussenluft.

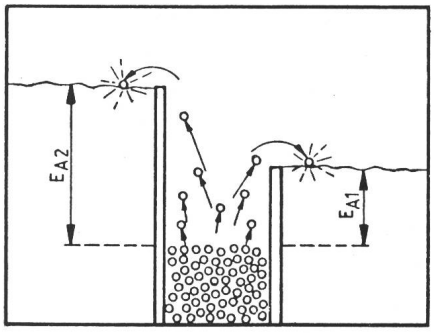
2. Festlegen der Wärmeableitung (Thermal Design)

Zur Abschätzung der Betriebstemperaturen ist zuerst eine Liste der Bauelemente mit ihren Gehäuseformen und Verlustleistungen zu erstellen. Mit der Gesamtleistung des Gerätes oder der Baugruppen kann ein erstes Wärmekonzept festgelegt werden, anhand dessen wiederum der Wärmewiderstand der IC-Gehäuseformen abzuschätzen ist. Die Temperatur der Bauelemente ist damit bestimmbar. Daraus folgen unter Umständen Verbesserungsmassnahmen, wie z. B. der Einsatz von Kühlkörpern oder Änderungen am Konzept der Wärmeableitung. Das Vorgehen ist also iterativ. Am Anfang des Entwurfs stehen die Randbedingungen, welche durch die Gerätefunktion sowie durch Vorschriften des Herstellers und vor allem des Kunden vorgegeben sind.



Figur 6 Ausfallrate λ in Funktion der Temperatur für zwei verschiedene Anregungsenergien E_A

(Arrhenius-Gesetz)



Figur 7 Symbolische Darstellung eines thermischen Zerstörungsprozesses

Teilchen, die thermisch auf eine bestimmte Energieschwelle gehoben werden, können einen Ausfallprozess einleiten.

2.1 Randbedingungen

Die folgenden Darlegungen beziehen sich auf den Entwurf einer Telexzentrale. Ähnliche Überlegungen gelten aber auch für andere Systeme. Die wichtigsten Randbedingungen für den Entwurf sind:

a) die Liste der typischen Bauelemente mit der Angabe von Bauform und Verlustleistung (z. B. für ICs in Gehäusen LLCC, PLC, SO, FP; ICs ohne Gehäuse, z. B. für ASIC, Widerstand diskret oder auf Dickschicht integriert),

b) die funktionelle Aufteilung auf Baugruppen, Einschübe, Gestelle usw., die Angabe vielfach verwendeter Baugruppen (z. B. Teilnehmerkreise 8000fach), sowie der maximalen Verlustleistung dieser Teile (z. B. 2 W pro Teilnehmer, 2000 W pro Gestell),

c) die Gesamtmenge der Bauelemente und Baugruppen mit Abschätzung der Gesamtverlustleistung (z. B. 2–20 kW),

d) das zur Verfügung stehende Volumen, (z. B. ein 19″-Einschub für 64 Teilnehmer oder das Gesamtvolumen für die Anlage),

e) die zur Verfügung stehenden Kühlmedien (z. B. Aussenluft, klimatisierte Luft in Kanälen oder Kühlwasser),

f) das Betriebskonzept und die Wartung (z.B. Modularität, Arbeitsbedingungen bezüglich Temperatur, Lärm usw.),
g) die Lebensdauer und Zuverlässigkeit (hohe Anforderungen für Telecom-Anlagen),
h) die Erweiterbarkeit (z.B. Nachrüstung von Teilnehmergruppen),
i) die Kompatibilität mit bestehenden Anlagen.

2.2 Grobkonzept

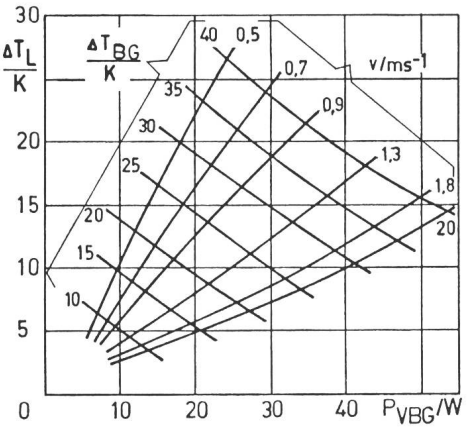
Für die Gewichtung der einzelnen Randbedingungen ist ein weiter Spielraum gegeben. Im erwähnten Beispiel der Telexzentrale ist die grosse Zahl gleicher Schaltkreise und die geforderte lange Lebensdauer der Anlage wesentlich. Daraus resultieren die Unterteilung in Teilnehmermodule sowie eine flexible Gestaltung der Bauweise, die auch langfristige technologische Trends berücksichtigt.

Zur Wärmeabführung können folgende Mechanismen beitragen:
1. die natürliche Konvektion (vorbeistreichende Luft),
2. die forcierte Luftkühlung,
3. die Wärmeleitung zu kühleren Geräteteilern,
4. die Wärmestrahlung zu kühleren Absorbern,
5. der Transport durch Flüssigkeit oder Dampf.

Man kann nun mit überschlägigen Berechnungen zeigen, dass für grössere Leistungsdichten nur forcierte Kühlung, Wärmeleitung mit grossen Querschnitten und Flüssigkeitskühlung in Frage kommen.

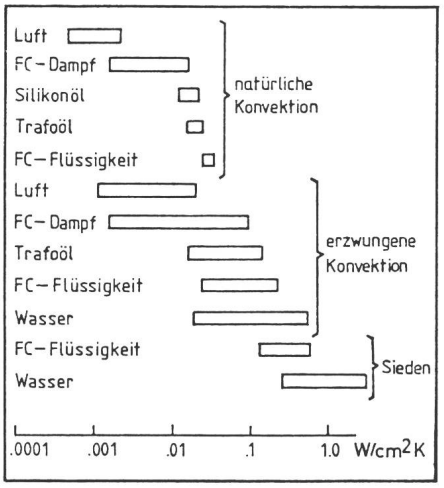
Die grosse Gesamtleistung erfordert ein Kühlsystem mit möglichst wenig Energieverlust. Dies, zusammen mit den Forderungen nach minimaler Wartung und guten Arbeitsbedingungen, lässt die Kühlung der Baugruppen mit forciert durchgeblasener Luft als ungünstig erscheinen. Bei der hohen notwendigen Luftgeschwindigkeit (Fig. 8) wären Luftfilter ständig auszutauschen, die Zuverlässigkeit der Gebläse gefährdet und das Personal ständigem Lärm ausgesetzt.

Welche Wärmeableitmethoden stehen sonst noch zur Verfügung? Verschiedene Varianten mit Wärmeleitung und Flüssigkeitskühlung wurden durchgerechnet oder geprüft. Die Figur 9 zeigt einen Vergleich verschiedener Kühlmedien, und die Figur 10 Stoffdaten von Materialien, welche in der Verbindungstechnik verwendet werden.



Figur 8 Temperaturerhöhung eines Leiterplattenstapels in Funktion der Verlustleistung bei verschiedenen Luftströmungsgeschwindigkeiten

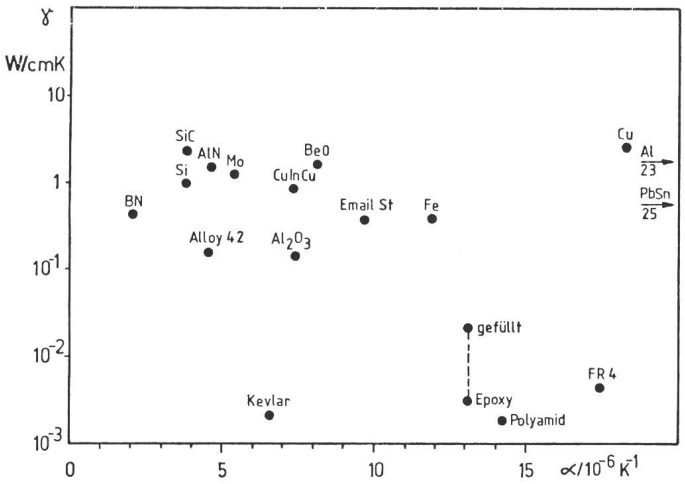
ΔT_L Erhöhung der Lufttemperatur
ΔT_{BG} Erhöhung der Baugruppentemperatur
V Luftgeschwindigkeit



Figur 9 Wärmeübergangskoeffizient für verschiedene Kühlmedien

Aus Figur 9 ist ersichtlich, dass kochendes Wasser der beste Wärmeübertrager ist. Leider ist aber der Siedepunkt bei Normaldruck zu hoch und zudem eine Korrosion der Leitungen nur schwer zu unterdrücken. Die Wahl fällt deshalb auf die inerten Fluorkohlenwasserstoffe. Geeignet für Elektronikkühlung erweist sich R11 (CCl_3F) mit einem Siedepunkt von 23,8 °C bei Normaldruck. Dieses Kühlmedium kann auf allen Hierarchieebenen eingesetzt werden, angefangen vom IC direkt, dann auf der Leiterplatte in der «Heat Pipe» (Röhre mit Docht) oder für die Gestellkühlung. Im gewählten Konzept bildet eine Kühlwand die Rückseite der Gestelle, welche wie bei einem Kühlschrank hermetisch dichte, mit R11 gefüllte Kanäle enthält (Fig. 11). Bei geeigneten Dimensionierungen bilden sich an den wärmeliefernden Flächen der Rückwand Blasen, welche die Energie als Verdampfungswärme aufnehmen. Sie steigen in der Flüssigkeit auf und führen so die Wärme nach oben ab, wo ein Wärmetauscher die Wärme auf ein anderes Medium, z.B. auf Luft oder Wasser überträgt. Die Kanäle bilden einen geschlossenen Kreislauf (Fig. 12). Die relativ anspruchsvolle Flüssigkeitskühlung ist in *einer* Kühlplatte konzentriert.

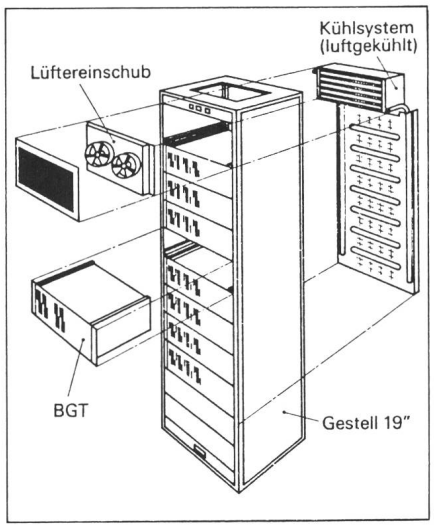
Sie bildet einen Wärmepfad von kleinem Wärmewiderstand als Sammelbus auf Gestellebene. Dieser Wärmebus muss vom Bauelement her mit niederem Wärmewiderstand erreicht werden können. Dazu wird einfache Wärmeleitung im Festkörper gewählt, z.B. in Kupfer oder Aluminium (Fig. 10). Die Wahl hängt vom Verbindungsträger ab. Als Standardträger können Glasepoxy-Leiterplatten (z.B. FR4) mit Kupferleitern oder Keramik-Dickschichtschaltungen mit Gold, Silber-Palladium oder Kupfer als Leitermaterial eingesetzt werden.



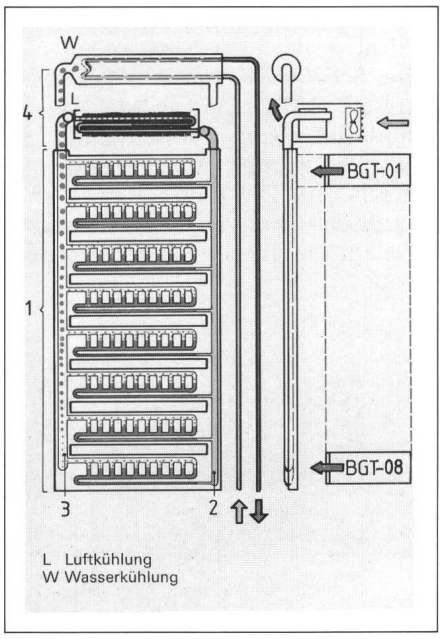
Figur 10 Wärmeleitung-Wärmedehnung-Diagramm für verschiedene Materialien

Die Wärmeleitfähigkeit von Glasepoxy ist sehr gering (Fig. 10). Deshalb wird entweder ein Kühlblech als Formteil auf die Leiterplatte aufgeklebt, oder es werden dickere Kupferinnenlagen (bis 0,3 mm) in Mehrlagenschaltungen eingesetzt. Beide Massnahmen verteuern die Leiterplatte und erfordern spezielle Herstellungsschritte.

Die Wärmeleitfähigkeit von Aluminiumoxyd-Keramik ist wesentlich besser als von Glasepoxy, aber viel schlechter als von Al oder Cu. Deshalb verwendet man ziemlich dünne Keramik (z.B. 0,635 mm) direkt auf einem Aluminiumträger als Wärmesenke.



Figur 11 Aufbau eines Gestells



Figur 12 Kreislauf des R11-Kühlmediums mit Luft- oder Wasser-Wärmetauscher

1 Kühlwand
2 Zufliessendes R11
3 aufsteigende Dampfblasen
4 Wärmetauscher

Dickschichtschaltungen auf Keramik haben den Vorteil, dass Widerstände direkt als Schicht auf der Keramik integriert werden können. Dabei ist die Wärmeableitung optimal, was wichtig ist für Schutzwiderstände.

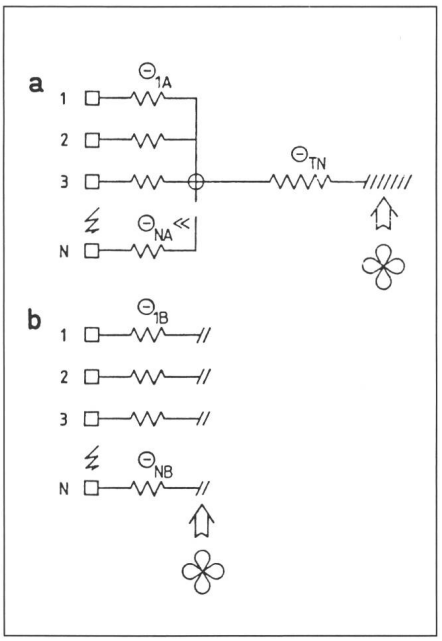
Die Figur 13 zeigt schematisch das besprochene Konzept für die Wärmeableitung und erklärt den guten Wirkungsgrad dieser Kühlung. Wärmequellen, die mit niederem Wärmewiderstand an einen gemeinsamen Wärmebus angeschlossen werden (Fig. 13a), können gemeinsam auf eine mittlere Temperatur gekühlt werden. Der Kühldurchsatz, Luft oder Wasser, muss sich nur nach der maximalen Leistung des Systems richten. Zudem werden Hot Spots, z.B. auf VLSI-Chips mit hoher Verlustleistung, eliminiert durch Temperaturausgleich. Bauelemente auf schlecht leitendem Verbindungsträger hingegen (Fig. 13b) müssen einzeln gekühlt werden, und der Luftdurchsatz muss sich nach der maximalen Leistung eines *einzelnen Bauelementes* richten.

Natürlich ist gute Wärmeableitung nicht kostenlos. Bei geschickter Auslegung des Gesamtsystems, besonders bei der optimalen Integration der Funktionen in ASIC und Dickschichtschaltungen in Modulbauweise, ergibt sich trotzdem ein günstiger Preis des Gesamtsystems.

2.3 Feinkonzept

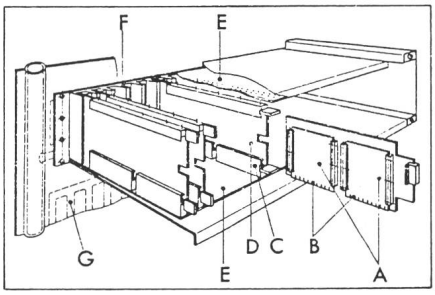
Bei richtiger Auslegung der Kühlkonstruktion wird die Temperatur jedes einzelnen Bauelementes einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten. Die Temperatur ist eine Funktion der verschiedenen Wärmeleistungsquellen, der Wärmeabführung sowie der Geometrie. Zu ihrer Bestimmung werden die Wärmewiderstände (in K/W) auf dem Wärmeweg berechnet.

Dieser führt (Fig. 14 und 15) von der



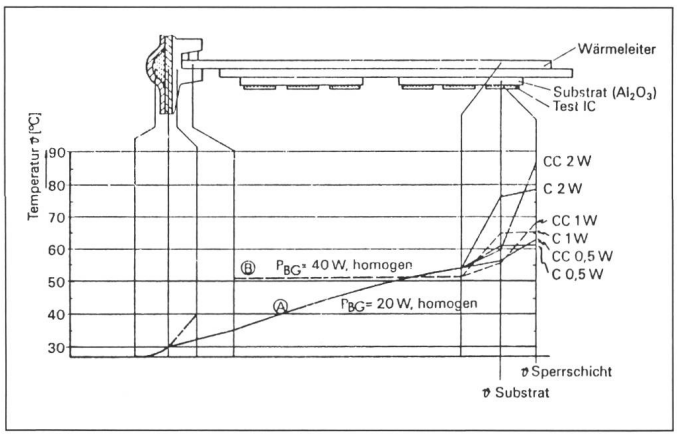
Figur 13 Ersatzschaltbild für Wärmetransport

Mit niederem Wärmewiderstand $\Theta_{1A}...\Theta_{NA}$ von den Quellen (1...N) via Wärmebus Θ_{TN} zur Senke (a) wird die notwendige Kühlleistung geringer als mit Einzelkühlung bei hohem Wärmewiderstand $\Theta_{1B}...\Theta_{NB}$ (b).



Figur 14 Baugruppenträger und Einschub

A Dickschichtschaltungen
B Kontaktstellen zu den Nullkraftsteckern (C)
C Nullkraftstecker mit Exzenterachse in offener Stellung
D Wärmeleiter
E Leiterplatte zur Querverbindung
F Wärmekollektor
G Siederohrkühlung



Figur 15 Messung der Temperatur auf der Einschubachse bei homogener Flächenleistung

Wasser-Wärmetauscher

A Wärmeleiter aus Aluminium
B Wärmeleiter mit Siederohrsystem

Quelle, z. B. einem Silizium-Halbleiter-Kristall, durch das Gehäuse auf das Keramiksubstrat, durch dieses hindurch flächig auf einen Träger aus Aluminium. Über das Wärmeleitblech fliesst die Wärme auf die Rückwand und von dort über die siedegekühlte Rückwand nach oben zum Wärmetauscher ab.

IC-Gehäuse haben sehr unterschiedliche Wärmewiderstände. Die Tabelle I gibt einige typische Werte an. Zur Bestimmung von Θ_{JC} (Widerstand zwischen Sperrschicht, Junction und Gehäuse, Case) sollte die Gehäuseoberfläche überall Junction-Temperaturen T_c erreichen. Dies kann nur in einer inerten Flüssigkeit annähernd erreicht werden.

Θ_{JA} ist der Widerstand zur Umgebung (ambient). Dieser kann nur eindeutig bestimmt werden, wenn der Lieferant den genauen Messaufbau vorgibt (Substrat, Leitergeometrie, Fläche, Orientierung, Strömung). Sowohl Θ_{JC} wie Θ_{JA} sind somit vorsichtig zu interpretieren. Im vorliegenden Fall ist Θ_{JA} auf Keramik-Kühlkörper anzunehmen. Dies ist gemäss Tabelle der niederste Wert.

IC-Gehäuse	Θ_{JC}	Θ_{JA}			
		Luft-Konvektion	Luft forciert	Keramik	Keramik auf Kühlkörper
P-DIP; Legierung 42; 20 Pin	45–65	105–130	30–40		
SO-14	29–45	120–220		130–165	85–110
SO-24W	15–30	80–140		50– 80	30– 50
PLCC-68	11–14	36– 46			
LLCCC-68	5–16	30– 50 25*	35 10–25*		
SOT-23; Legierung 42	147	470			
SOT-89; Legierung 42	59	168			
Nackter Chip					0,5–5

Tabelle I Wärmewiderstand in K/W von IC-Gehäusen

* mit Kühlkörper

Θ_{JC} Wärmeableitwiderstand zwischen Halbleiter-Sperrschicht (Junction) und Gehäuse (Case)

Θ_{JA} Wärmeableitwiderstand zwischen Junction und Umgebung (Ambient)

Der Wärmeübergang von der Keramik auf den Aluminiumträger hängt stark von der Oberflächenbeschaffenheit und von der Verteilung der Wärmequellen ab [9]. Bei Bedarf kann ein wärmeleitender Kunststoff-Füller verwendet werden. Zur Dimensionierung der Aluminiumplatten wurden Rechnungen durchgeführt, und zwar einerseits mit Hilfe eines SPICE-Programms an einem vereinfachten Wärmewiderstandsmodell, und anderseits mit der Finite-Element-Methode zur Beantwortung einiger Detailfragen mit dem Programm ANSYS [10]. Rechnungen allein bringen nicht viel, weil die Wärmeübergangszahlen zwischen zwei rauhen Oberflächen, evtl. noch mit Luftspalt, nicht genau bekannt sind. Deshalb müssen die Kennzahlen messtechnisch bestimmt werden. Die Rechnung erlaubt dann Parameter-Variationen, die experimentell sehr aufwendig wären.

Die Keramikplatten weisen schon als Grundmaterial, erst recht aber infolge des Aufbaus der Dickschichtschaltung, eine Welligkeit oder Durchbiegung auf. Sie liegen deshalb nicht vollflächig auf. Der Luftspalt zwischen Keramik und Aluminium kann 0,15 mm erreichen, je nach Aufbau der Schaltung. Die Durchbiegung wird deshalb bei der Herstellung kontrolliert, und die Materialien und Verfahren so gewählt, dass sie minimal wird. Mit Rückseitendruck kann sie zusätzlich verringert werden.

Die Rückwand mit Siedekühlung hat einen sehr geringen Wärmewiderstand. Sie führt die Wärme des ganzen Gestells, z. B. von 8 Baugruppenträgern, ab. Für 1,8 kW Gestelleistung ist der Temperaturanstieg der Rückwand bezogen auf die Kühlluft für den Wärmetauscher $\triangle T = 23$ K. Mit einem Wärmetauscher zu Wasser sinkt die Temperaturdifferenz noch weiter, weil der Wärmeübergang wesentlich besser ist.

3. Realisierung

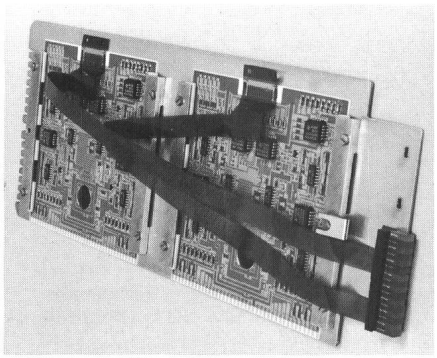
3.1 Systemauslegung

In einer Zentralenanwendung liegt der mengenmässig grösste Schaltungsaufwand in den Teilnehmerkreisen. Einige 1000 Empfänger-/Senderkreise mit den zugehörigen Schutzschaltungen, Prozessoren und Abtastern (Scanner) sind einzubauen. Das Gesamtsystem besteht aus dem 3fach redundanten Zentralprozessor, den modular ausbaubaren, ebenfalls redundanten Scannern, den Leitungsprozessoren (LIPO) und den Leitungsschnittstellen (LINU). In einem 2 m hohen 19″-Gestell können 512 Anschlüsse mit den zugehörigen 8 LIPO untergebracht werden. LINU und LIPO sind im wesentlichen auf Dickschichtschaltungen, Schutzbaugruppen auf Glasepoxy-Leiterplatten realisiert. Die Figur 16 zeigt einen LINU-Einschub für 8 Teilnehmer.

3.2 Dickschichtschaltungen

Die meisten Teilnehmerschaltungen (LINU) sind in Dickschichttechnik (zwei Leiterlagen) und mit abgeglichenen Widerständen aufgebaut (typisch 4 Teilnehmer pro 4×4″-Substrat). Ein bis zwei kundenspezifische IC (ASIC) steuern die 4 Kreise. Nach dem Auflöten der Bauelemente werden die Widerstände mit einem automatisch gesteuerten Laserstrahl so abgeglichen, dass die gewünschten Pegel- oder Filtercharakteristiken entstehen. Auch nackte Halbleiterkristalle können aufgeklebt und drahtgebondet werden.

Die Schaltungen für den Leitungsprozessor (LIPO) sind in Mehrlagentechnik aufgebaut. Typisch sind drei durch Isolationsschichten getrennte Leiterebenen. Die grosse Fläche und die grossen ICs mit engen Anschlüssen erfordern einen ausgeklügelten Layout.



Figur 16 LINU-Einschub für 8 Teilnehmer mit Frontplattenanzeige

LINU Teilnehmerkarte

3.3 Nullkraftstecker

Die Kontaktfedern der Nullkraftstecker (Zero-Insertion-Force) lassen sich mit einer Drehachse so öffnen, dass die Baugruppe quer zu den Federn eingeschoben werden kann. Nach dem Schliessen drücken die vergoldeten Federn auf die vergoldeten Anschlussstellen auf den Schaltungen und damit gleichzeitig die ganze Schaltung auf den Wärmeleiter. Beim Schliessen schleifen die Federn einige Zehntelmillimeter und reinigen dabei die Kontaktstellen. So ist ein guter elektrischer und gleichzeitig thermischer Kontakt sichergestellt.

3.4 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Die geschlossene Bauweise ohne Lüftungslöcher hat den zusätzlichen Vorteil, dass sie einen inhärenten Schutz gegen elektromagnetische Störungen darstellt. Schutzbaugruppen nehmen die Leitungen in Empfang; sie schliessen diese gegen innen mit Trennübertragern ab und sorgen gegen aussen für eine gute Verbindung mit dem Kabelschirm.

3.5 Kühlwand

Die ganze Kühlwand 500×1800 mm wird in einem Stück hergestellt: Die maximal erlaubte Leckrate im Endtest entspricht einem Verlust von 200 g Flüssigkeit in 20 Jahren. Zur Überprüfung der Stabilität des Kühlkreislaufs wurden verschiedene Tests durchgeführt, welche die folgenden Resultate ergaben:

1. Auch nach verspätetem Einschalten der Ventilatoren wird nach wenigen Minuten eine stabile Kühlung erreicht.
2. Die Geschwindigkeit der Kühlflüssigkeit in den Kanälen hat keinen Einfluss auf die Stabilität der Temperaturregelung.
3. Die Temperaturregelung ist robust in bezug auf die Füllung des Gestells (1 bis 8 Chassis).
4. Kippen des Gestells um ± 3,5° stört den Kühlkreislauf nicht.

3.6 Aussenkühlung

Wenn die Wärme an Luft abgegeben wird, kühlen zwei Ventilatoren (Redundanz) den Wärmetauscher oben an der Kühlplatte. Die Kühlluft kann direkt Aussenluft sein, oder Luft aus der Klimaanlage des Gebäudes. Dieser wird sie entweder via Kanäle entnommen oder direkt aus dem Arbeitsraum.

Die Kühlung der Siedekühlwand mit einem Wasser-Wärmetauscher ist wirkungsvoller. Zum einen sinkt die Betriebstemperatur, zum andern steigt der Wirkungsgrad der Anlagenkühlung, gerade bei grossen Anlagen. Das Wasser kann einem sekundären Kühlkreislauf entstammen, der redundant und mit Pufferspeichern ausgerüstet ist. Dadurch nimmt die Betriebssicherheit nochmals zu. Während bei konventionellen Anlagen mit 30 kW Verlustleistung etwa 9000 m^3/h Luft und zusätzlich etwa 18 kW elektrische Leistung für den Betrieb der Klimaanlage benötigt werden, genügen für eine Anlage des beschriebenen neuen Typs 2,6 m^3 Wasser pro Stunde. Einzelheiten der Wasserkühlung sind in [11] beschrieben.

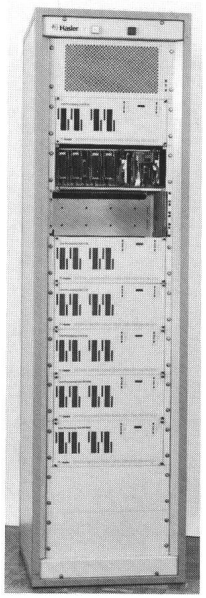
Die Wahl des externen Kühlmediums ist dem Betreiber der Anlage überlassen. Dabei spielt es auch eine Rolle, ob in bereits bestehende Gebäude installiert wird oder ob neu konzipierte Räume zur Verfügung stehen.

3.7 Gesamtanlage

Das Volumen einer Telexzentrale mit z. B. 8192 Teilnehmern konnte um den Faktor 2 bis 3 verkleinert werden. Die Figur 17 zeigt einen Schrank für 512 Teilnehmer. Dank der neuen Technik ist Raumkühlung mit einem ebenfalls kleineren und energiesparenden Luft- oder Wasserkreislauf möglich. Auch für andere Anlagen oder Geräte lässt sich eine ähnlich konsequent entwickelte Bauweise einsetzen. Der Hauptunterschied wird in der Aufteilung der Hardware auf die Systembaugruppen und in der Anlagenkühlung liegen.

4. Ausblick

Der Einsatz von hochintegrierten ICs und von Dickschichtschaltungen oder wärmeleitenden Leiterplatten macht eine hohe Packungsdichte möglich. Eine hohe Zuverlässigkeit ist allerdings nur mit niederen Betriebstemperaturen zu erreichen. Es wird deshalb immer wichtiger, dass zugleich mit dem elektrischen ein konsequenter thermischer Entwurf durchgeführt wird. Die Siede- oder Verdampfungskühlung (Heat Pipe) ist eine von mehreren Möglichkeiten, die für bestimmte Anwendungen ähnlich der hier beschriebenen vermehrt Einsatz finden wird. Solche kompakte, abdichtbare Bauweisen mit guter Wärmeableitung werden in Zukunft die Installation wartungsarmer Geräte ermöglichen, die für den Benützer kaum mehr zu sehen oder zu hören sind.



Figur 17 Schrank für 512 Telex-Teilnehmer

Literatur

[1] *W. Hilberg:* Grundprobleme der Mikroelektronik. Einführung in die technischen und wirtschaftlichen Entwicklungsgesetze der Grossintegration (VLSI). München/Wien, Oldenbourg, 1982.

[2] *L. J. Jenkin:* Thermal management of electronic equipment – a bibliography. Electronic Production -(1981)10, p. 113...115.

[3] *F. N. Sinnadurai:* Handbook of microelectronics packaging and interconnection technologies. Ayr/Scotland, Electrochemical Publications Limited, 1985.

[4] *H. Gerber:* Methodische Auswahl von Kühlsystemen für elektronische Geräte. Feinwerktechnik und Messtechnik 91(1983)7, S. 333...336.

[5] Premières journées d'études sur les aspects thermiques dans les matériels de télécommunications. Perros Guirec 16, 17 et 18 décembre 1980. Issy-les-Moulineaux Centre National de l'Etude des Télécommunications, 1980.

[6] *R. C. Chu* and *R. E. Simons:* Thermal management of large scale digital computers. International Journal for Hybrid Microelectronics 7(1984)3, p. 35...43.

[7] *H. Ryser, B. Ulrich* und *C. Zimmer:* Die Elektronikbauweise der Telex-Leitungsausrüstung. Hasler Mitteilungen 45(1986)3, S. 49...60.

[8] *K. Neumann, R. Becker:* Elektronikbaugruppen beim Einsatz hochintegrierter Bausteine. Feingerätetechnik 32(1983)4, S. 150...153.

[9] *D. J. Kinniment* and *D. A. Edwards:* Thermal design in a hybrid system with high packing density. IEEE Trans. CHMT 1(1978)2, p. 176...181.

[10] *J. M. Kallis, L. A. Strattan* and *T. T. Bui:* Programs help spot hot spots. IEEE Spectrum 24(1987)3, p. 36...41.

[11] *R. Almquist:* Bilan d'exploitation du système de refroidissement actif Ericool. Ericsson Review 63(1986)2, p. 53...57.