

der sinnvolle Bereich der Schaltelementezahl eingeschränkt durch den Umstand, daß keine elektronische Einrichtung eine homogene Anordnung aller Schaltelemente aufweist, wie sie bei den obigen Überlegungen stillschweigend angenommen wurde. Vielmehr zeigt sich beispielsweise zwischen den Eingangsbuchsen für die Antenne und den Ausgangsklemmen für den Lautsprecher beim Radio eine Ordnung der Schaltelemente zu Gruppen, die elektronische Funktionseinheiten darstellen wie Vorverstärker, Oszillatorkreis, Mischstufe, Filterkreis, Demodulator, Gleichrichterstufe, Niederfrequenzverstärker u. a. Im Prinzip wiederholen sich wenige Funktionseinheiten, die im „Blockschaltbild“ besonders deutlich hervortreten, in den meisten Geräten der Analogtechnik. Die digitalen Geräte, zu denen die Datenverarbeitungsanlagen gehören, haben eine noch engere Struktur. Die Schaltelementegruppen, die als elektronische Funktionseinheiten wirken, sind hier die logischen Grundschaltungen oder „Gatter“, und Speichereinheiten die sich schon in mittleren Geräten hundert- und tausendfach wiederholen.

Alle diese digitalen und analogen Grundschaltungen (vgl. Übersichten bei C 1) haben mit je 10 bis 30 Schaltelementen gerade eine so geringe Größe, daß sie schon frühzeitig von den meisten Herstellern mit hinreichender Ausbeute als integrierte Funktionsblöcke hergestellt werden konnten. Wo es die Ausbeute erlaubt, mehr Elemente zu integrieren, können entsprechend 2 oder mehr vollständige Grundschaltungen je Funktionsblock vorgesehen werden. (Grenze: unzureichende Flexibilität im Geräteentwurf bei Zusammenschaltung der Grundschaltungen in der Kapsel oder begrenzte Zahl der Kapseldurchführungen bei herausgeführten Anschlüssen der Grundschaltungen.) Diesem glücklichen Umstand ist es zu verdanken, daß ohne langwierige Verhandlungen die Aufteilung der Schaltelemente auf die Funktionsblöcke international weitgehend übereinstimmend vorgenommen wurde und wird. Natürlich kann durch Absprache der Vierpolparameter und die Bildung harmonischer Serien oder Familien die Kompatibilität der Integrierten Schaltungen noch verbessert werden. Dies wird die Aufgabe nationaler und internationaler Normgremien sein.

3.2.2 Verlustleistung und Wärmeabfuhr bei Integrierten Schaltungen

Mit der Verbesserung der technologischen Mittel zur Herstellung elektronischer Schaltelemente auf oder in winzigen Trägerkörpern treten Verlustleistung und Wärmeabfuhr als Grenzen der Miniaturisierung immer deutlicher hervor. Besonders Widerstände, Transistoren und Dioden (in Flußrichtung) geben ihre oft viele mW betragende Verlustleistung als Wärmeenergie an die Umgebung ab. Betragen beispielsweise die Verluste jedes Schaltelementes nur 1 mW, dann entwickelt, bei Schaltelementedichten von 1000 cm^{-3} , ein Gerät von 1 l Rauminhalt 1 kW Wärmeleistung, also etwa die eines kleinen elektrischen Heizofens. Dabei steigert sich die Temperatur des Gerätes soweit, bis sich ein Gleichgewicht zwischen entwickelter und abge-

fürter Wärmeleistung einstellt. Um eine Verschlechterung der Schaltungseigenschaften durch die erhöhten Temperaturen oder gar eine Zerstörung der Schaltelemente zu verhindern, ist zunächst eine gute Wärmeableitung bis zur Geräteoberfläche wichtig. Von der Geräteoberfläche muß aber schließlich die Wärme an die Umgebung abgegeben werden. Da die Wärmeleitung in Gasen gering ist, müssen große Kühlflächen oder Konvektion (Luftumwälzung durch Kaminwirkung oder Ventilation) vorgesehen werden. Diese Kühlmaßnahmen schmälern den Volumengewinn der Miniaturisierung spürbar. Noch ungünstiger werden die Verhältnisse, wenn die Geräte in der Luft- und Raumfahrt unter verringertem Luftdruck betrieben werden sollen, so daß durch Konvektion die Wärmeabfuhr nur unwesentlich oder gar nicht gesteigert werden kann. Hier kann die thermische Energie lediglich durch Strahlung an den umgebenden Raum abgeführt werden, eine Art des Wärmetransports, die erst bei höheren Temperaturen wirksam wird. Entsprechend hohe Werte erreicht die Betriebstemperatur der Geräte, bis sich das Wärme Gleichgewicht einstellt.

Neben den Problemen des Temperaturanstiegs und der Wärmeabfuhr stellt die Verlustenergie in mobilen elektronischen Geräten und Anlagen auch an die Stromversorgung schwierige Anforderungen, entstammt doch die gesamte mühsam und nutzlos abgeführte Wärme den mitgeführten Batterien.

Volumen und Gewichte der Batterien könnten beträchtlich gesenkt werden, wenn diese Verluste verringert würden. Versuche, durch thermische Kreisprozesse einen Teil der Verlust-Energie wiederzugewinnen, ergaben bisher nur volumenraubende Anordnungen.

Dieser Sachverhalt hat zu der Überzeugung geführt, daß eine Volumenverminderung elektronischer Einrichtungen Hand in Hand mit der Verminderung der Verlustleistung gehen muß. Entsprechend der Bedeutung des Problems wird die Entwicklung verlustarmer Integrierter Schaltungen („low-power“- oder „Nanowatt“-Technik) intensiv betrieben (s. C 1.2). Die raschen Fortschritte, die in dieser Richtung gemacht werden, sind unter anderem dadurch möglich, daß das Energieniveau (Pegel) der elektrischen Signale, die von Schaltelement zu Schaltelement übertragen werden, in konventionellen Geräten verhältnismäßig hoch liegt. Um die gewünschten elektrischen Funktionen auszuführen, genügt meist ein geringerer Energiepegel. Seine untere Grenze wird durch die Ansprechempfindlichkeit der Schaltelemente und den Pegel der Störströme und -Spannungen (Rauschen u. ä.) gesetzt. Die Verhältnisse liegen wie bei der akustischen Signalübertragung von den Stimmbändern eines Sprechers zum Trommelfell des Hörers. Nur im Gespräch mit einem Schwerhörigen oder um Störgeräusche zu übertönen, wird man den Lautstärkepegel heben und auch dabei nur soweit, wie es nötig ist, um das Verständnis sicherzustellen.

Zur Senkung der Verlustenergie in elektronischen Schaltungen ist man nun dabei, die „schwerhörigen“ durch leichter ansprechende Dioden und Transistoren (mit niedrigeren Anlaufspannungen und niedrigeren Ruhestromen) zu ersetzen und die bisher übertriebene „Lautstärke“ der elektrischen Signale