

### 10.5.13 Pentode/Triode/Ultralinear

In der Endstufe eines typischen Gitarrenverstärkers arbeiten Pentoden: EL-34 im Marshall, EL-84 im VOX, 6L6-GC im Fender. Oder vergleichbare Röhren (5881, KT-66, KT-88), aber immer Pentoden, und keine Trioden. Dass einige dieser Röhren eigentlich Strahl-Tetroden sind, soll hier nicht stören, denn ihre Leitbleche sind ja auch eine Art fünfte Elektrode, auch wenn in der strengen Theorie noch immer Unterschiede zu einem echten Bremsgitter verbleiben. Da diese Unterschiede im Folgenden aber keine Bedeutung haben, möge Pentode synonym zu Strahl-Tetrode stehen.

In einer Triode beschleunigt die aussteuerungsabhängige Anodenspannung die Elektronen, deshalb ist die Röhren-Verstärkung bei kleiner Anodenspannung klein. Bei der Pentode hat demgegenüber die Anodenspannung nur wenig Einfluss auf den Emissionsstrom, weil das Schirmgitter – unabhängig von der Aussteuerung – auf hohem Potential liegt. Die Ausgangskennlinien der Pentode verlaufen deshalb (außer im anfänglichen Verteilungsgebiet) fast horizontal, der Innenwiderstand ist größer als bei Trioden. Bei der Gesamtbetrachtung von Wirkungsgrad, Innenwiderstand und Klirrfaktor bemerkten nun die HiFi-Entwickler, dass sowohl die Pentode, als auch die Triode einen suboptimalen Randbereich belegten, und suchten nach einem Kompromiss. Dieser fand sich in der **Ultralinear-Schaltung**: Hierbei liegt das Schirmgitter der Endröhren weder auf konstantem Potential (Pentodenbetrieb), noch auf Anodenspannung (was in etwa Triodenbetrieb entspricht), sondern dazwischen. Da am Ausgangsübertrager ja alle Spannungen zwischen Betriebsspannung und Anodenspannung zur Verfügung stehen, muss man nur eine geeignete "Anzapfung" aus der Primärwicklung herausführen. Deshalb hat ein Ultralinear-Ausgangsübertrager nicht drei, sondern fünf Primäranschlüsse. Die Signalarückführung auf die Schirmgitter ( $g_2$ ) bewirkt eine Gegenkopplung, was beim HiFi-Verstärker als Vorteil angesehen wurde. Beim Gitarrenverstärker anscheinend nicht, denn nur wenige Versuche schafften den Sprung in die Produktion, z.B. der 79er Twin-Reverb. Oder, man höre und staune, der 200-Watt-Marshall: Ultralinear-Endstufe, für geringste Verzerrungen. Bei der JCM-800-Serie geht's dann aber wieder ohne Ultralinearisation zur Sache.

Durch das Verringern der Schirmgitterspannung sinkt die erreichbare Maximalleistung. Das kann man ausnutzen, um einen 100-W-Verstärker in einen 50-W-Verstärker umzuwandeln: Umschalter an beide Schirmgitter, sodass entweder die volle Betriebsspannung, oder die Anodenspannung an die Schirmgitter gelangt. Natürlich könnte man auch die Verstärkung reduzieren, wenn's zu laut wird, aber Endstufenverzerrungen entstehen erst bei Übersteuerung. Sind die Schirmgitter mit den (zugehörigen) Anoden verbunden, arbeiten die Endpentoden in einer Art **Triodenbetrieb**: Mit kleinerer Maximalleistung, aber auch mit kleinerem Innenwiderstand. Der Wechsel vom Pentoden- in den Triodenbetrieb ändert deshalb nicht nur die Maximalleistung (Lautstärke), sondern auch den Klang. Bei Betrieb mit hohem Innenwiderstand werden Lautsprecher-Resonanzen und Höhen betont, im Triodenbetrieb verliert der Sound an Brillanz und Volumen. In welchem Ausmaß es tatsächlich zu hörbaren Änderungen kommt, hängt (neben der Schirmgitterspannung) auch von der Endstufen-Gegenkopplung ab: Änderung der Schirmgitterspannung bedeutet Änderung der Verstärkung, also der Schleifenverstärkung, und somit Änderung des Gegenkopplungsfaktors. Gegebenenfalls muss deshalb beim Umschalten der Schirmgitterspannungen auch die Gegenkopplungsschleife umgeschaltet werden. Auf den **Arbeitspunkt** hat die Pentoden/Trioden-Umschaltung hingegen keine Auswirkungen, weil sich in Ruhe die Anodenspannung fast nicht von der Betriebsspannung unterscheidet (die Primärwicklung ist für Gleichstrom niederohmig).