

Mögliche Energieeinsparpotentiale beim Einsatz von Stellventilen

Um eine gute Regelungsqualität zu erreichen, ist eine bestimmte Ventilautorität notwendig. Die in der Literatur angegebenen Werte dürfen jedoch nicht dogmatisch, unabhängig von der hydraulischen Schaltung und der wärmetechnischen Regelungsaufgabe angewendet werden. Genaue, der Aufgabe angepasste Untersuchungen sind unerlässlich. Die stark unterschiedlichen Ergebnisse werden an einem einfachen Beispiel demonstriert.

Dr.-Ing. habil. Bernd GLÜCK,
ROM-Zentrale, Hamburg

Die Energieproblematik bei der Auslegung von Ventilen gewinnt zunehmend an Bedeutung. In zahlreichen Publikationen und Vorträgen wird auf dieses wichtige Energieeinsparpotential hingewiesen, so daß zumindest viele Betreiber sensibilisiert sind. Die grundsätzlichen Ziele bei der Auslegung von Stellventilen sind zweigeteilt. Die Grundaufgaben

- eine abgegliche Hydraulik
 - eine aufgabengemäße Beeinflussung der wärmetechnischen Aggregate bzw. Anlagen
 - die Stabilität der Regelkreise werden von der Zielfunktion
 - geringer Energieverbrauch beim Anlagenbetrieb
- überlagert. Da allgemeingültige Aussagen für die komplizierte, überlagerte hydraulische und wärmetechnische Problematik nur sehr begrenzt möglich sind, wird folgend eine detaillierte Vorgehensweise an einem Beispiel dargestellt. Diese Untersuchung nimmt keine Wertung über die Ein-

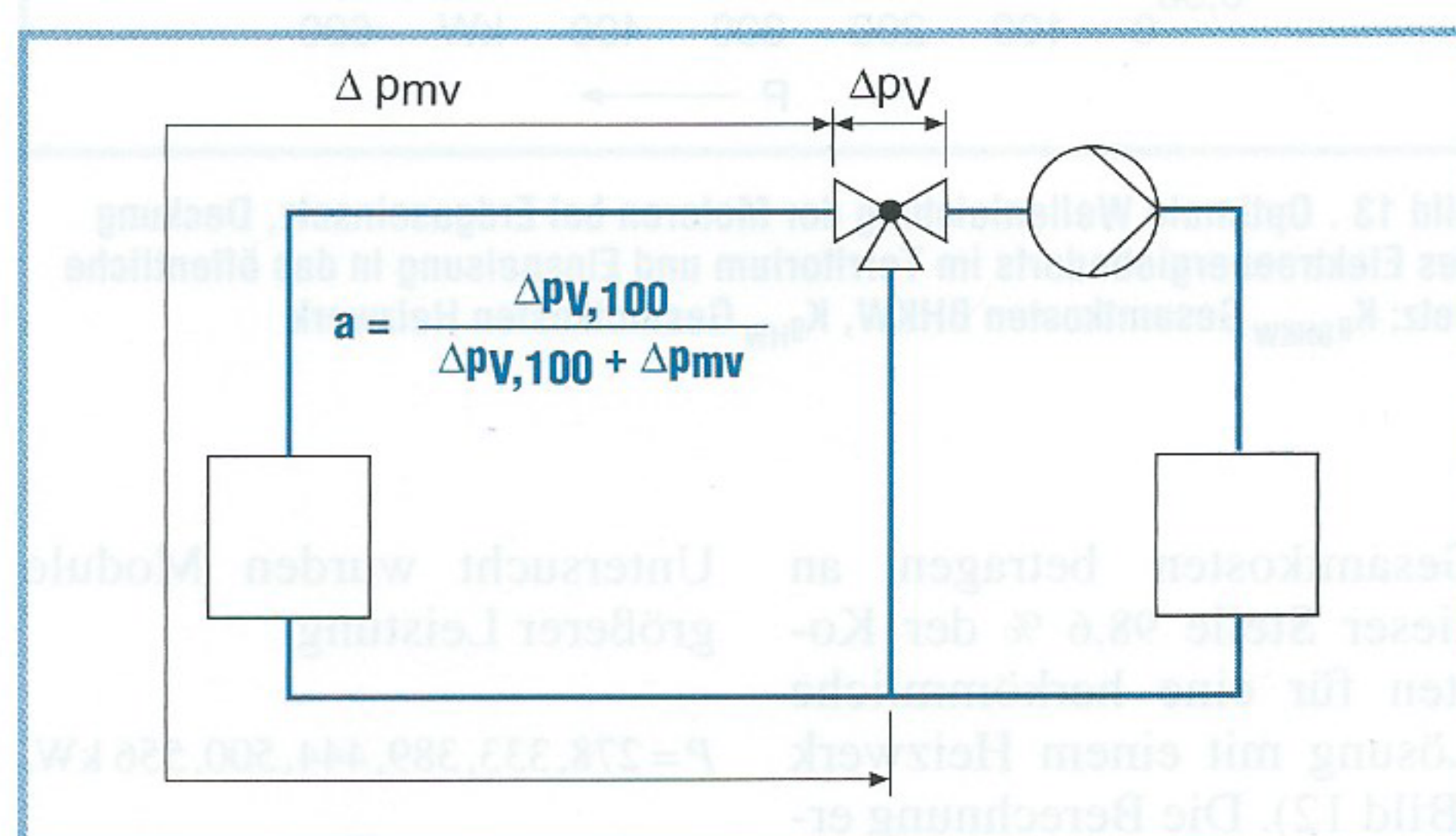


Bild 1 . Beimischschaltung unter Einsatz eines Zweiwegeventils

satzkriterien von Ein- und Zweiwegeventilen vor.

Spezielle Aufgabenstellung

Bild 1 zeigt einen simplen Beimischkreis mit einem Zweiwegeventil (Größenordnung der relevanten Parameter: Volumenstrom ca. 500 m³/h; Förderhöhe der Pumpe ca. 46mWS). Es entstand eine Diskussion, ob ein Ventilkoeffizient $k_{VS} = 630 \text{ m}^3/\text{h}$ oder $k_{VS} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ gewählt wer-

den sollte. Im letzteren Fall könnte eine Leistungsreduzierung der Umwälzpumpe von 5,7 kW (8 %) erreicht werden. In der Diskussion spielte die Ventilautorität gemäß der in Bild 1 gegebenen Definition eine bedeutende Rolle. Bei $k_{VS} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ sinkt diese von $a = 0,24$ auf 0,11, wodurch eine instabile Regelung befürchtet wurde, da in der Literatur notwendige Ventilautoritäten zwischen 0,25 und 0,70 genannt werden. Außerdem bestand Unklarheit dar-

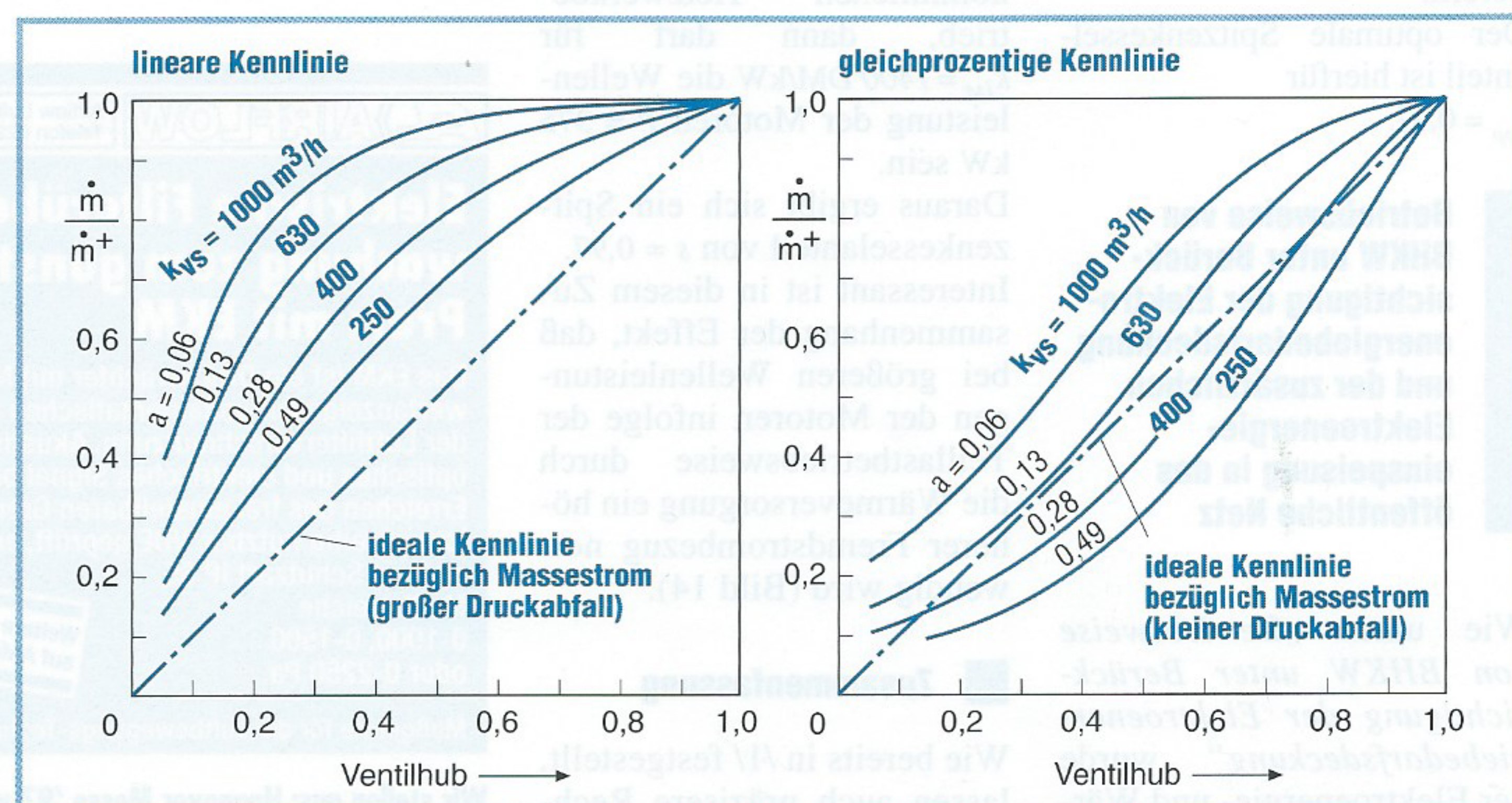


Bild 2 . Massenstromverhältnis in Abhängigkeit des k_{VS} -Wertes und des Ventilhubes bei Einbau eines Durchgangsventils (vergleichende Betrachtung)

über, wie groß das Minimum an Antriebsleistung unter idealen Bedingungen überhaupt ist. Die Lösung kann kein allgemeingültiges Rezept sein. Ingenieurverstand plus unterstützende Rechenprogramme müssen sich ergänzen.

Vergleichende Betrachtung am Durchgangsventil

Dabei wird von den praktischen Gegebenheiten, d. h. der Rohrleitung wie im Beimischkreis und einer realen Pumpenkennlinie ausgegangen. Unter Variation der k_{VS} -Werte – und damit der Ventilautoritäten – ergeben sich in Abhängigkeit des Ventilhubes die Massestromverhältnisse $\dot{m}/\dot{m}^+$ (Bild 2). Soll die ideale Kennlinie – Massestrom ist dem Hub proportional – realisiert werden, muß ein Ventil mit linearer Kennlinie und großem Druckabfall oder ein Ventil mit gleichprozentiger Kennlinie und relativ kleinem Druckabfall gewählt werden.

Die reine Mengenstromregelung ist in wärmetechnischen Anlagen jedoch selten die Zielstellung. Bei der Regelung von wärmetechnischen Leistungen (Bild 3) ist die relative Wärmeleistung $\dot{Q}/\dot{Q}^+$ eine Funktion des primärseitigen Massestromverhältnisses $\dot{m}_p/\dot{m}_p^+$ und der Wärmeüber-

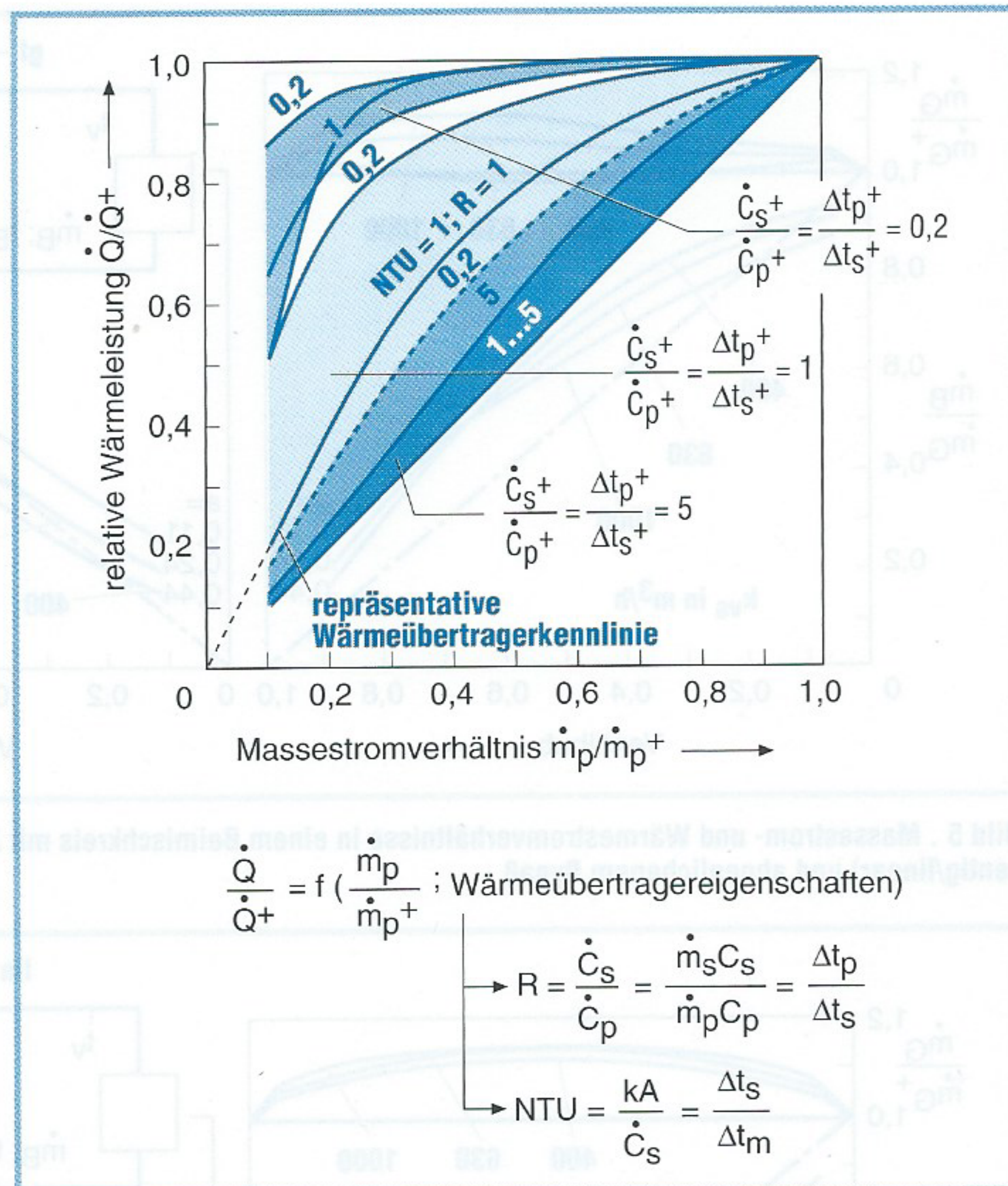


Bild 3 . Wärmestromverhältnis eines Wärmeübertragers in Abhängigkeit des primärseitigen Massestromverhältnisses und der Auslegungsdaten bei konstanten sekundärseitigen Bedingungen

tragereigenschaften. Diese sind das Verhältnis R des sekundärseitigen zum primärseitigen Wärmekapazitätsstrom $\dot{C}_s/\dot{C}_p$ bzw. der Temperaturpreizung $\Delta t_p/\Delta t_s$ und die Größe NTU , die das Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizienten k und Wärmeübertragerfläche A bzw. die

mittlere logarithmische Temperaturdifferenz Δt_m einbezieht. Die in Bild 3 verwendeten Parameter „+“ gelten für den Auslegungszustand. Bei konstanten Eintrittsparametern auf der Sekundärseite sind Wärmeübertragerkennlinien in einem großen Variantenbereich zu erwarten. Im

oberen Bereich liegen z. B. die Luftheritzer, im unteren die Fußbodenheizungen, dazwischen die üblichen Heizungswärmetauscher. Im weiteren wird mit der für $R = 1$ und $NTU = 1$ geltenden Kurve gearbeitet.

Die Kombination der gleichprozentigen Ventilkennlinie und der Wärmeübertragerkennlinie ergibt das in Bild 4 links dargestellte Hub-Leistungskennfeld. Danach müßte man eine Ventilautorität von $a = 0,49$ wählen, wenn man eine gut regelbare Minmaleistung wünscht. Dies sind allgemein bekannte Tatsachen. Bild 4 zeigt aber rechts daneben die zugehörigen Pumpenleistungen, die sehr deutlich die Einsparpotentiale kennzeichnen.

Beim Übergang von $k_{VS} = 250$ auf $400 \text{ m}^3/\text{h}$ verringert sich die Auslegungsleistung um 30 %. Die Mindestleistung für den Massestromtransport bei idealer Drehzahlregelung der Pumpe unter Weglassung des Ventils – also der theoretisch erreichbare Grenzwert – bringt im Auslegungsfall eine Reduzierung um 49 %. Im Halblastfall können 97 % gespart werden. Darüber lohnt es sich schon nachzudenken und evtl. althergebrachte Überlegungen über Bord zu werfen.

Beimischkreis mit Zweivegeventil und abgeglichenem Bypass

Bild 5 zeigt die sich einstellenden Verhältnisse für ein Zweivegeventil mit gleichprozentiger Durchgangs- und linearer Bypasscharakteristik. Links sieht man das Beimischverhältnis über den Hub aufgetragen. Aus der Enthalpiebilanz um den Knoten folgt die Temperaturänderung zur Beimischänderung

$$\frac{dt_G}{d(\dot{m}_B / \dot{m}_G)} = t_B - t_V$$

womit die Temperaturänderung zur Hubänderung der Beimischveränderung zur Hubänderung proportional ist:

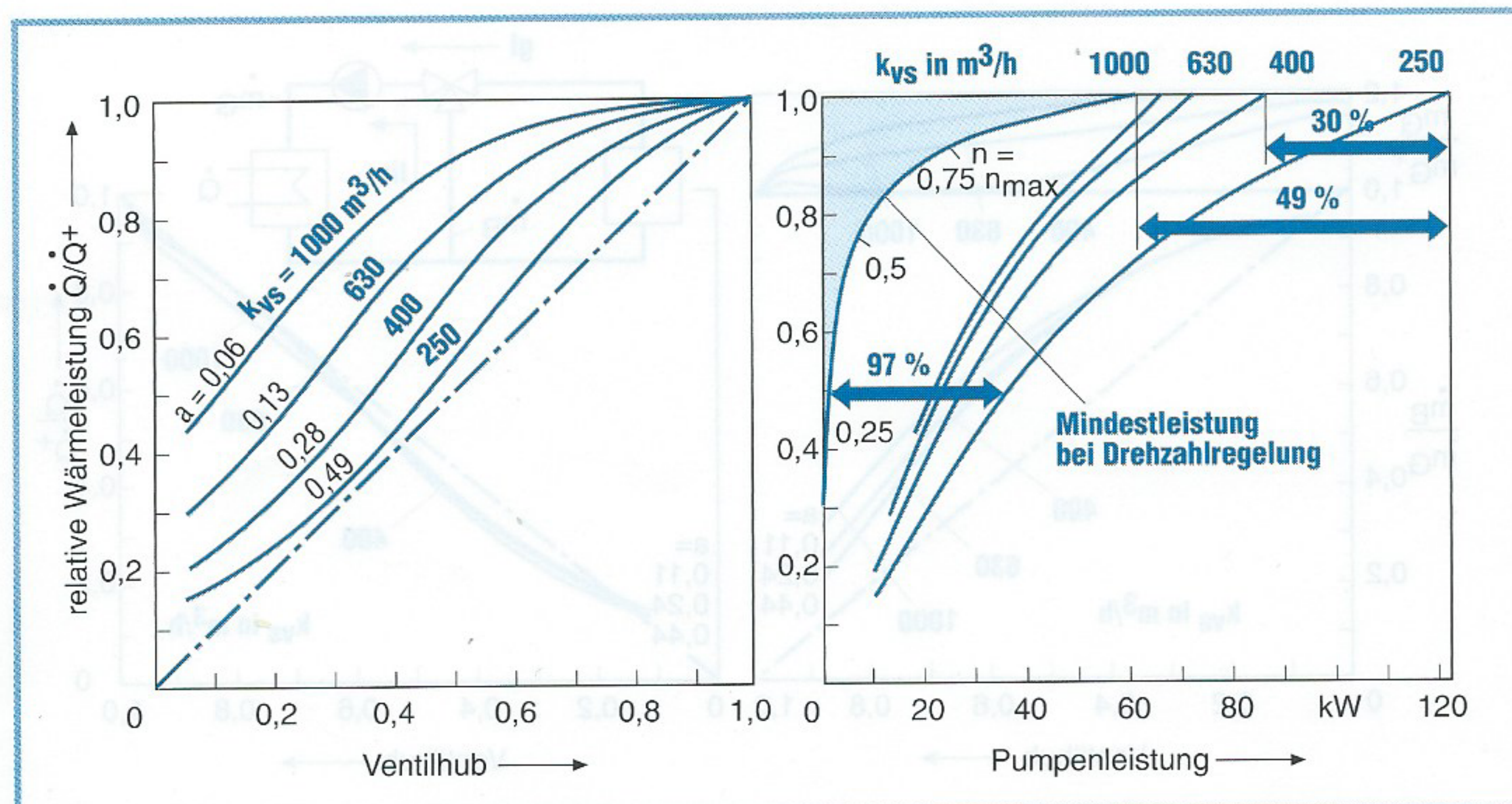


Bild 4 . Wärmestromverhältnis und zugehörige Pumpenleistung einer wärmetechnischen Anlage in Abhängigkeit des k_{VS} -Wertes und des Ventilhubes bei Einbau eines Durchgangsventils (Kennlinie: gleichprozentig)

$$\frac{dt_G}{dHub} = (t_B - t_V) \frac{d(\dot{m}_B / \dot{m}_G)}{dHub}$$

Im linken oberen Diagramm des Bildes 5 ist das Gesamtmassestromverhältnis mit Abweichungen bis ca. 12 % zu sehen. Rechts zeigt das Wärmestromverhältnis Kennlinien über dem Hub, die nur wenig von der Ventilautorität $a = 0,11 \dots 0,44$ beeinflusst werden. Ungünstiger – aber in der Tendenz gleich – sind die Verhältnisse bei Zweibegeventilen mit linearer Charakteristik für beide Strömungswege (Bild 6).

Beimischkreis mit Zweibegeventil und nicht abgeglichenem Bypaß

Die Verhältnisse bei einem hydraulisch nicht abgeglichenen Bypaß liefern unerwartete Ergebnisse (Bild 7). Der Gesamtmassestrom steigt zwar bis auf 20 % über den Auslegungswert an, die Leistungskurven verlaufen aber nahezu ideal herunter bis auf 10 % unabhängig von der Ventilautorität. Der Beimischstrom ist höher als bei abgeglichenem Bypaß, wodurch sich die Sekundärvorlauftemperatur und damit die Leistung bei gleichem Hub reduziert. Gelten für beide Strömungswege lineare Charakteristika, dann ergeben sich etwas ungünstigere Leistungskurven in Abhängigkeit des Ventilhubes (Bild 8).

Beimischkreis mit Zweibegeventil und hydraulischer Weiche

Eine völlig neue Qualität erreicht man, wenn eine hydraulische Weiche vorgesehen wird. Die Ventilautorität nach der in Bild 1 gegebenen Definition beträgt in diesem Fall $a \approx 1$. Das Gesamtmassestromverhältnis $\dot{m}_B / \dot{m}_G$ ideal – d. h. fast linear –, die Leistungskurven jedoch etwas ungünstiger als im vorherigen Bild. Der Energieaufwand bei

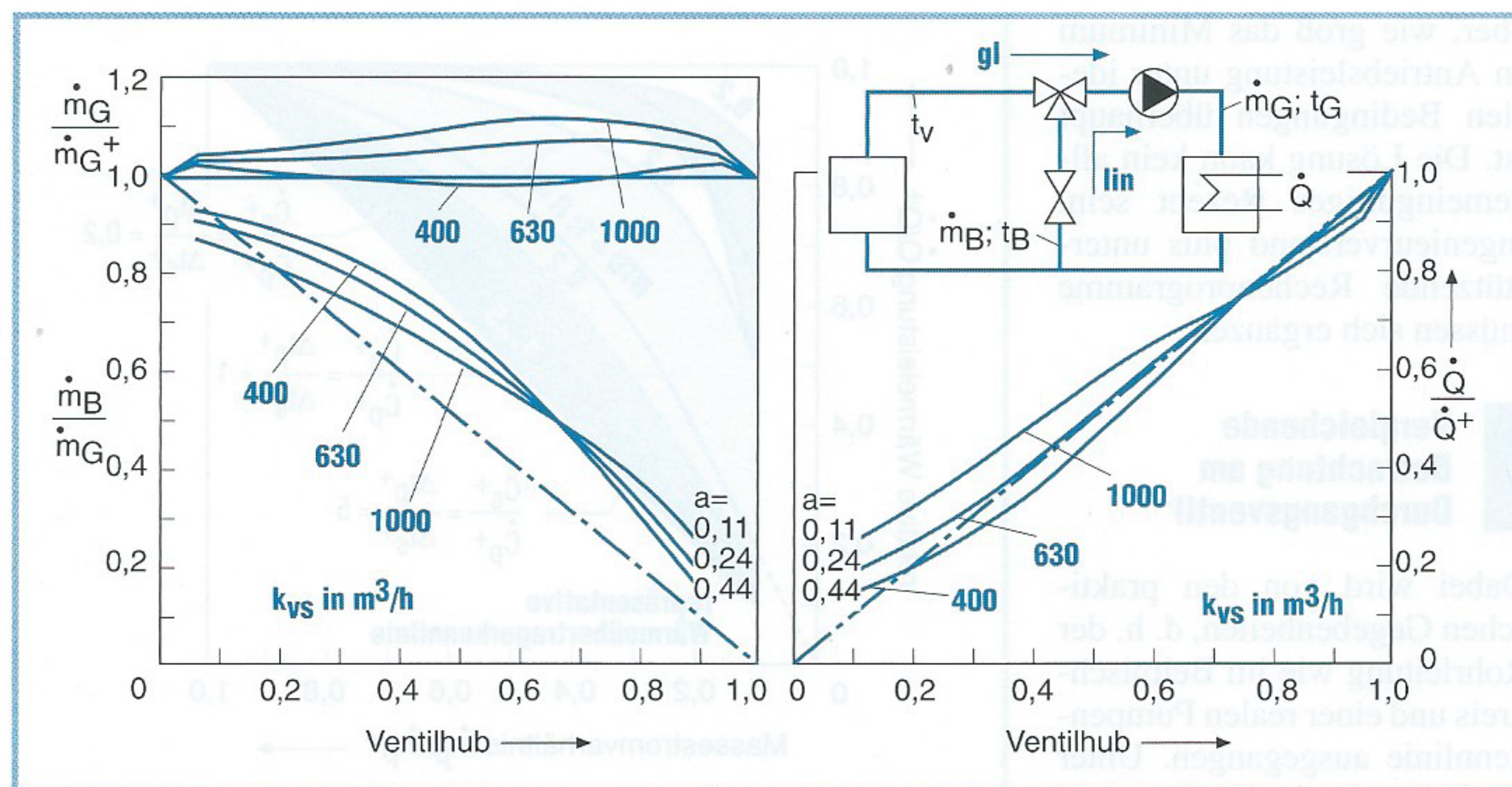


Bild 5 . Massstrom- und Wärmestromverhältnisse in einem Beimischkreis mit Zweibegeventil (Kennlinie: gleichprozentig/linear) und abgeglichenem Bypaß

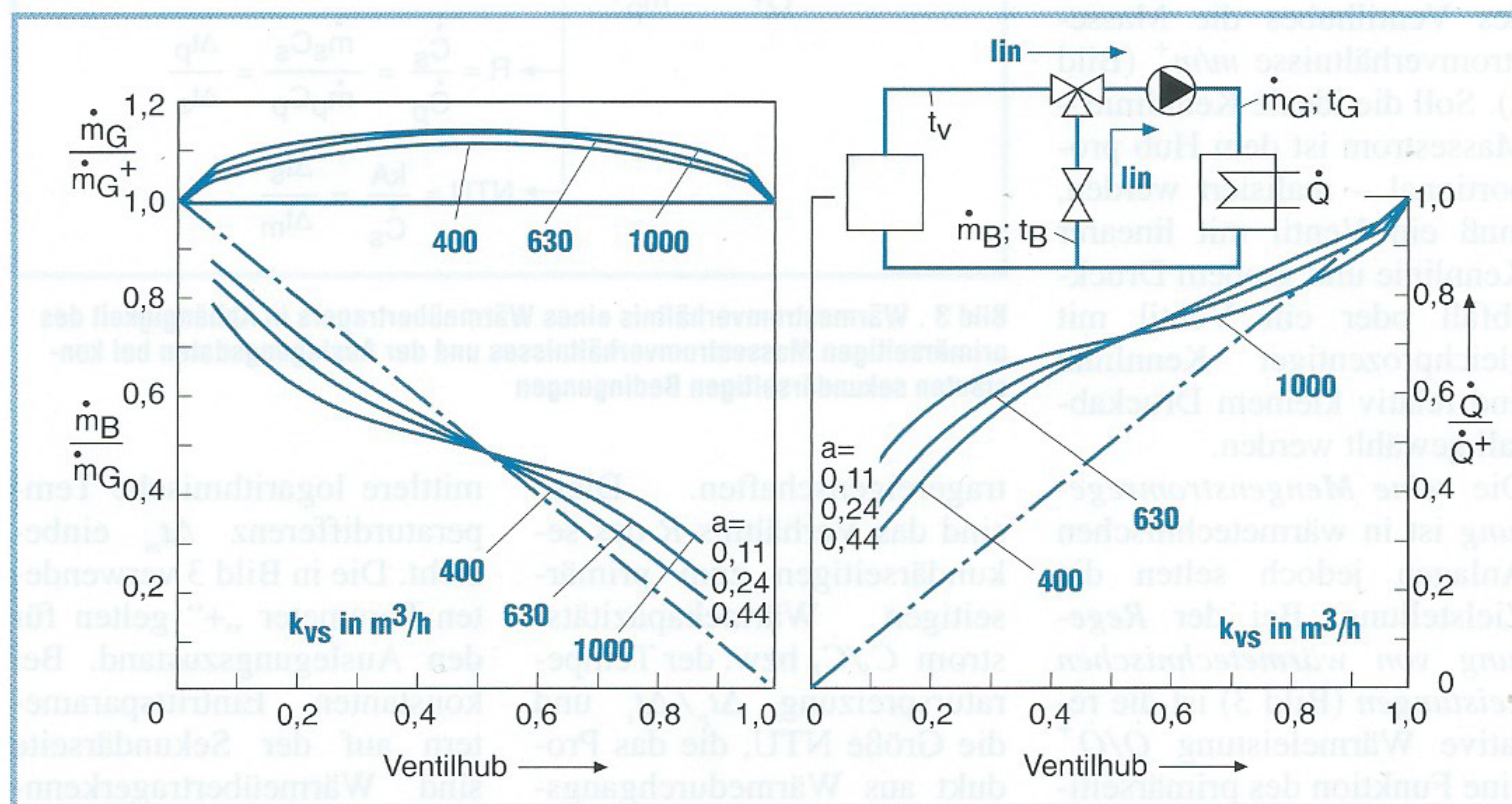


Bild 6 . Massstrom- und Wärmestromverhältnisse in einem Beimischkreis mit Zweibegeventil (Kennlinie: linear/linear) und abgeglichenem Bypaß

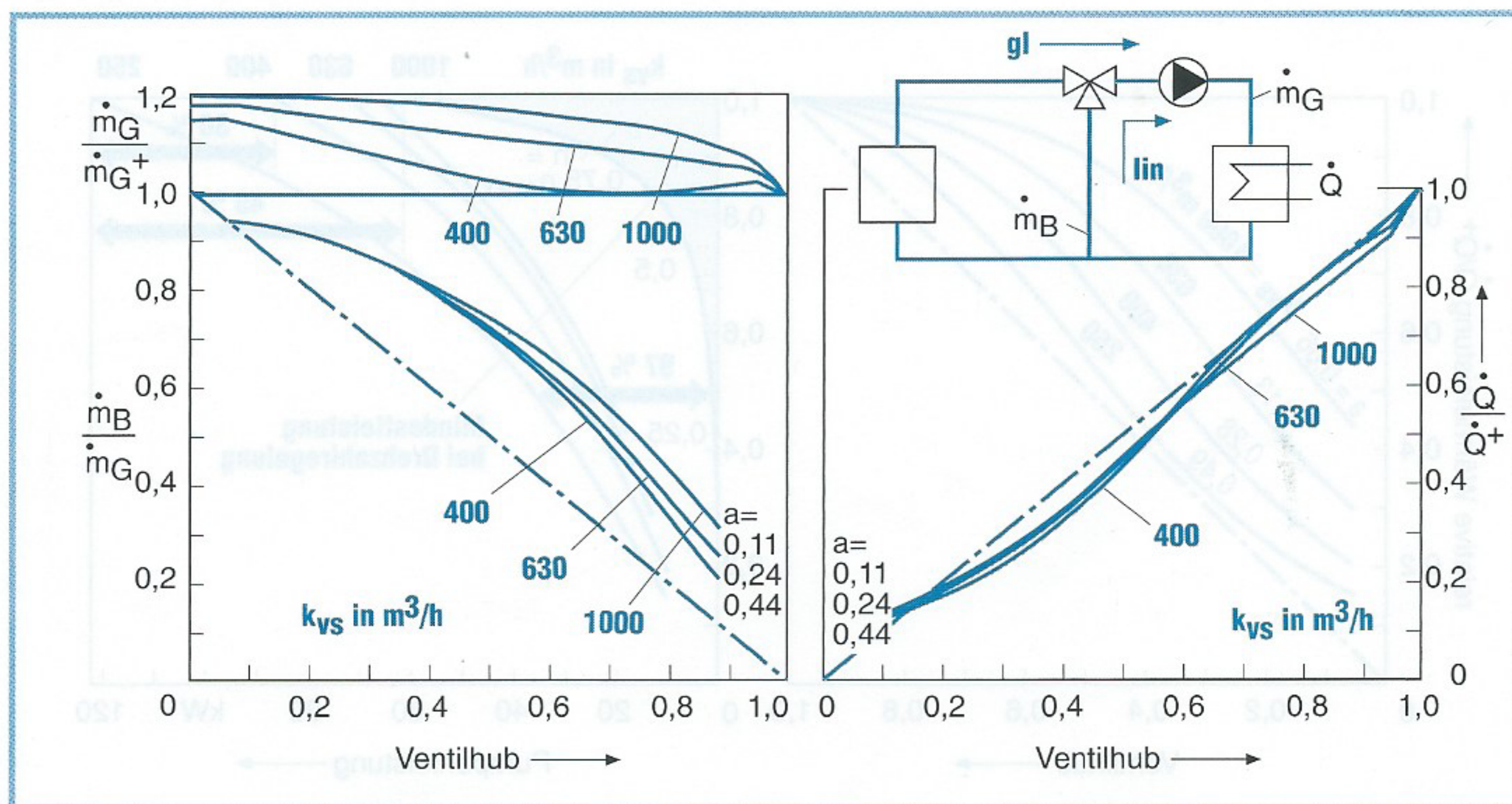


Bild 7 . Massstrom- und Wärmestromverhältnisse in einem Beimischkreis mit Zweibegeventil (Kennlinie: gleichprozentig/linear) und nicht abgeglichenem Bypaß

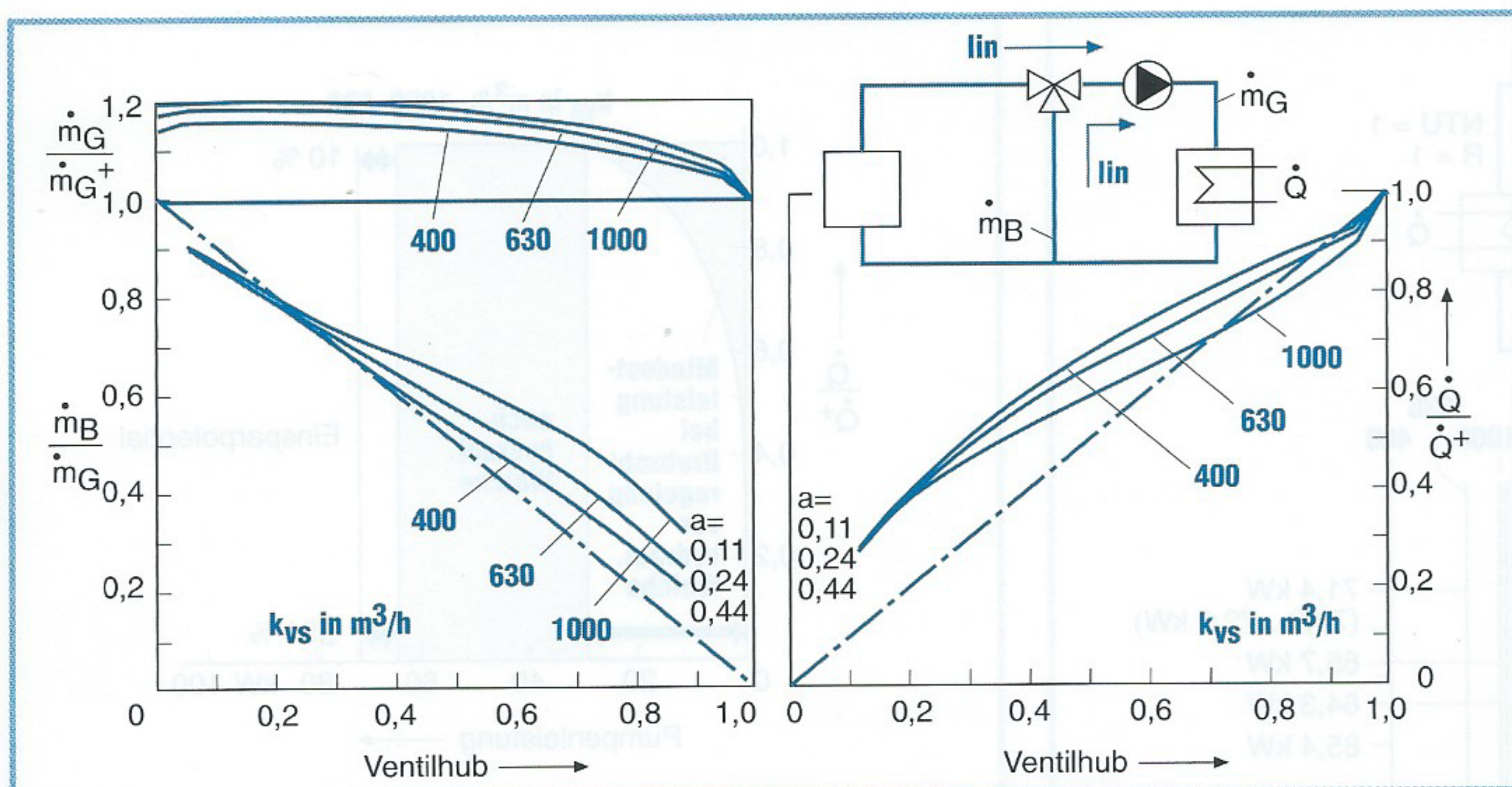


Bild 8 . Massestrom- und Wärmestromverhältnisse in einem Beimischkreis mit Zweigegeventil (Kennlinie: linear/linear) und nicht abgeglichenem Bypass

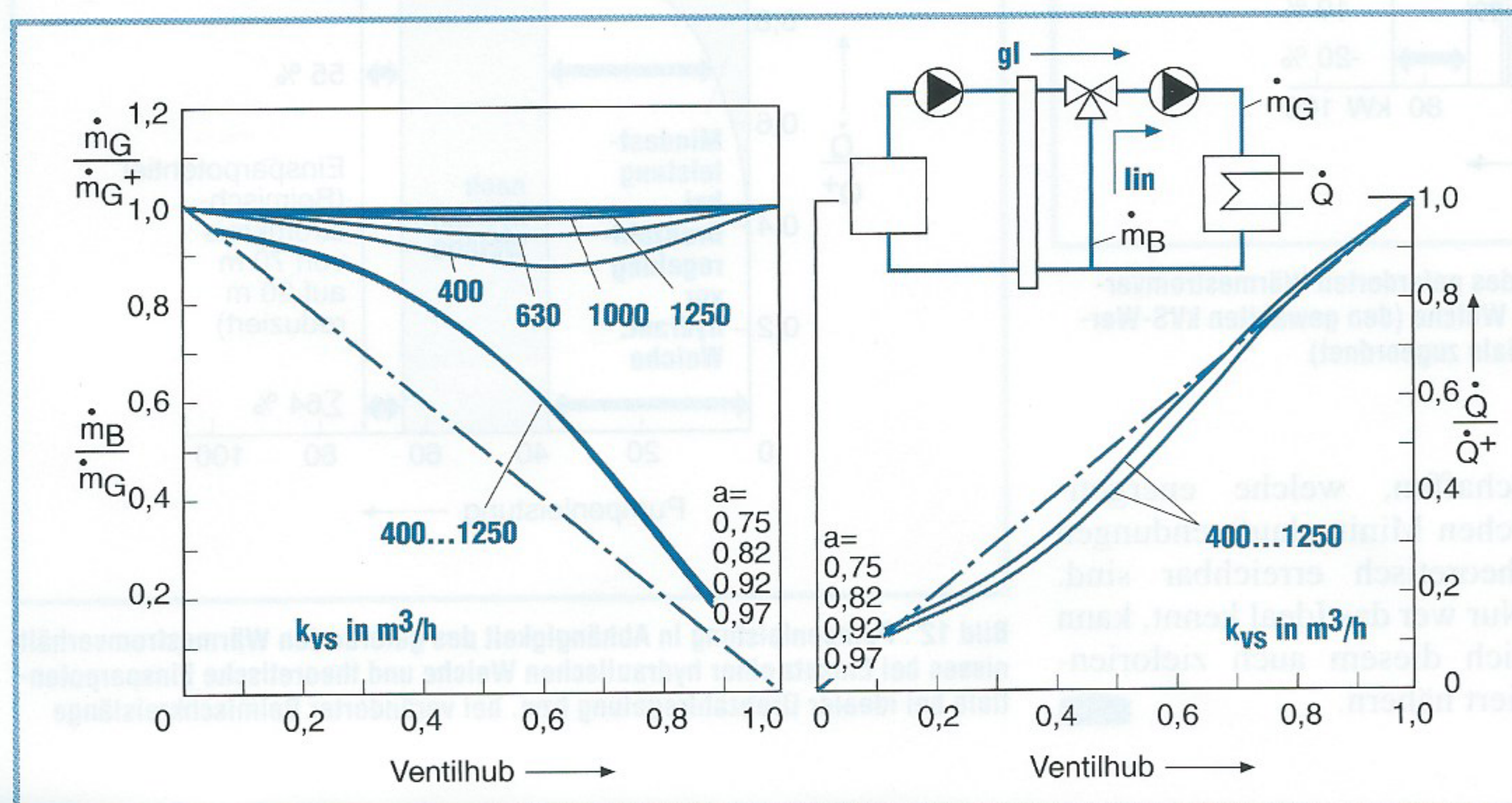


Bild 9 . Massestrom- und Wärmestromverhältnisse in einem Beimischkreis mit Zweigegeventil (Kennlinie: gleichprozentig/linear) und hydraulischer Weiche

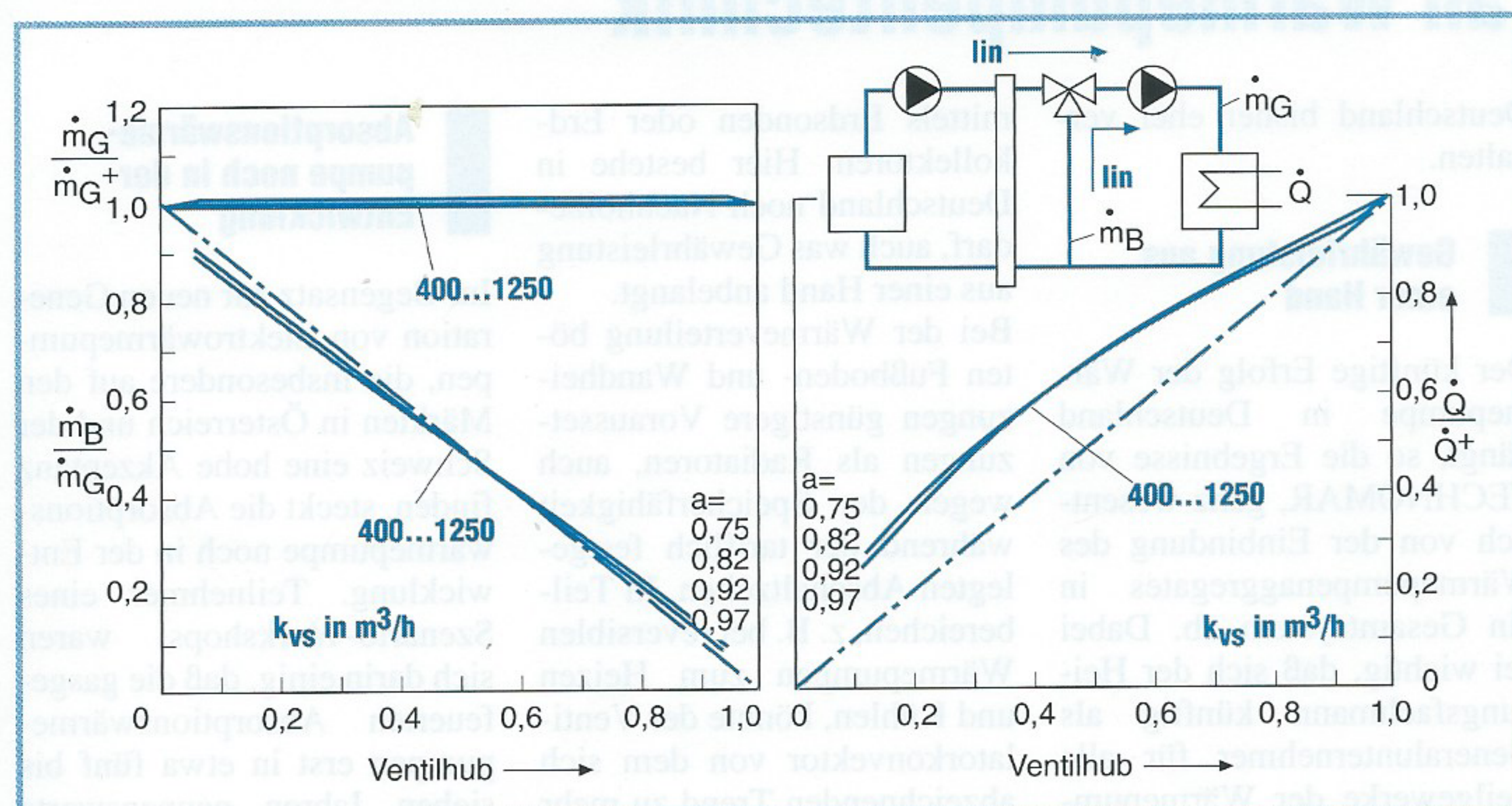


Bild 10 . Massestrom- und Wärmestromverhältnisse in einem Beimischkreis mit Zweigegeventil (Kennlinie: linear/linear) und hydraulischer Weiche

Einsatz einer hydraulischen Weiche besteht aus zwei Teilen (Bild 11). Die erste Pumpe fördert bis zur hydraulischen Weiche, die zweite bis zum Verbraucher. Im Verbraucherstromkreis kann bedenkenlos ein Ventil nicht nur mit $k_{VS} = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$, sondern sogar mit $k_{VS} = 1250 \text{ m}^3/\text{h}$ eingesetzt werden. Damit erschließt man ein Einsparpotential von 10 % mit zusätzlichen regelungstechnischen Vorteilen.

Welche Einsparpotentiale sind weiterhin noch möglich?

- Die Mindestleistung bei Drehzahlregelung vor der hydraulischen Weiche begrenzt sich auf den in Bild 12 gekennzeichneten Bereich. Damit existiert ein Einsparpotential von 10 bis 51 % (Bild 12 oben).
- Rückt man die hydraulische Weiche näher an den Verbraucher heran – in Bild 12 unten wurde der Beimischstromkreis von 70 auf 20 m reduziert und der Zuführungskreis um die gleiche Rohrlänge vergrößert –, so erhöht sich das Einsparpotential von 10 bis 64 %.
- Die genaue Drehzahlregelung ist natürlich problematisch. Sinnvoll wäre eventuell der „Ausbau“ der hydraulischen Weiche zu einem Speicher. Bei max. 70 % Durchsatz reduzierte sich die Leistung ständig um mindestens 55 %. Der Speicher hätte möglicherweise noch thermodynamische Vorteile, die weitere energetische Effekte freisetzen.

Schlußfolgerung

Um die beste Regelungscharakteristik für wärmetechnische Anlagen zu erreichen, sind umfangreiche Simulationen der hydraulischen Schaltung und der Wärmeübertrager notwendig. Dies ist nur mit relativ aufwendigen Rechenprogrammen möglich. Sie sollten modular aufgebaut

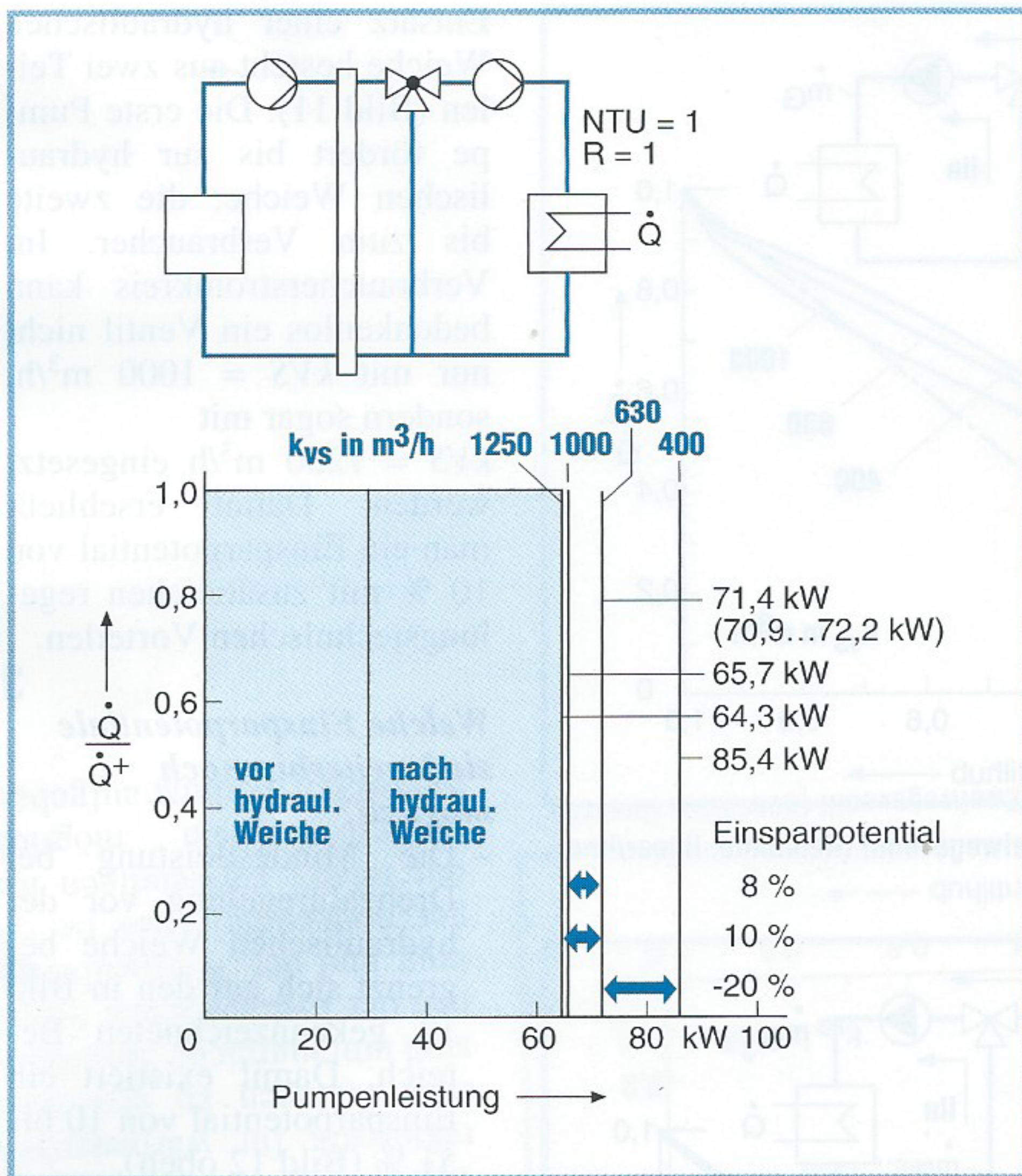


Bild 11 . Pumpenleistung in Abhängigkeit des geforderten Wärmestromverhältnisses bei Einsatz einer hydraulischen Weiche (den gewählten kVS-Werten sind die Leistungen und Einsparpotentiale zugeordnet)

sein, um die real vorkommenden Schaltungen rationell nachbilden zu können. Bei der Beurteilung der hydraulischen Schaltungen sollte man sich auch stets Klarheit ver-

schaffen, welche energetischen Minimalaufwendungen theoretisch erreichbar sind. Nur wer das Ideal kennt, kann sich diesem auch zielorientiert nähern.

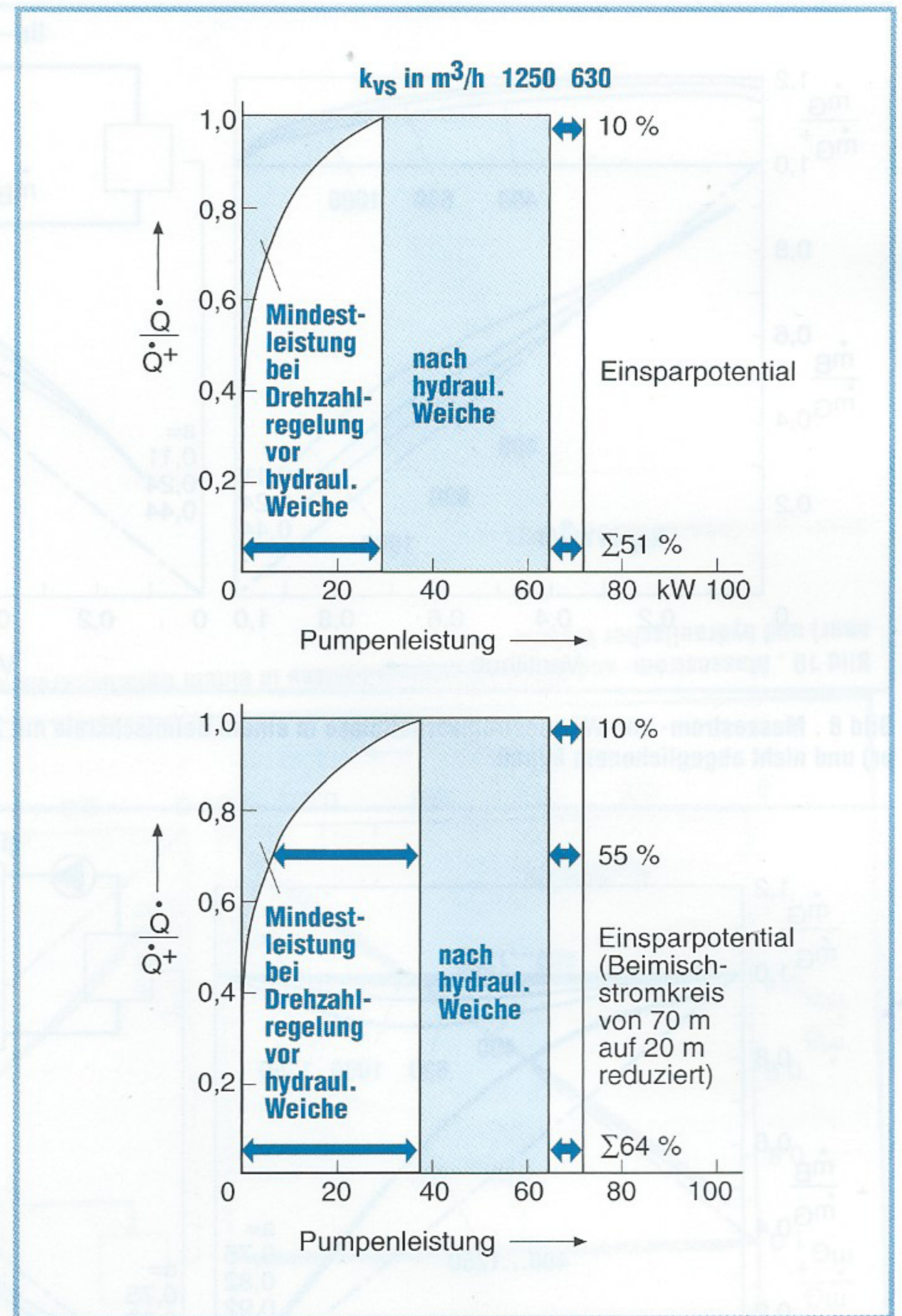


Bild 12 . Pumpenleistung in Abhängigkeit des geforderten Wärmestromverhältnisses bei Einsatz einer hydraulischen Weiche und theoretische Einsparpotentiale bei idealer Drehzahlregelung bzw. bei veränderter Beimischkreislänge