

Energiesparen in hydraulischen Systemen

Joachim Cieslok, INCO Ingenieurbüro GmbH
Alexanderstraße 69-71, 52062 Aachen, BRD
Tel.: +49 (0) 241 4746741; j.cieslok@ib-inco.de

Einleitung

Im Zusammenhang mit dem Monitoring externer Projekte wurde immer wieder festgestellt, daß im Bereich der Transportenergien bei der Technischen Gebäudeausrüstung trotz PH-Standard noch erhebliche Einsparpotentiale vorhanden sind. Es soll an Hand von konkreten Beispielen gezeigt werden, mit welchen Maßnahmen die vom Passivhaus geforderten geringen Transportenergien zu erreichen sind und was physikalisch dahintersteckt.

Es wird an jeweils einem Beispiel in der Heizungstechnik und einem in der Lufttechnik eine "Standardauslegung" mit einer "energetisch optimierten Auslegung" direkt miteinander verglichen.

Außerdem werden Beispiele von technischen Einbauten mit unterschiedlichen energetischen Qualitäten gegenübergestellt.

Heizungstechnik

Die derzeit üblicherweise verwendeten Planungsgrundlagen in der Haustechnik sind noch nicht auf möglichst niedrigen Energieverbrauch ausgelegt.

Standardauslegung:

- Rohrnetzberechnung mit Standardwerten von z.B. 100 Pa/m und mehr
- Standard-Armaturen in Rohrdimension nach Rohrnetzberechnung
- Standard-Rohrübergänge an allen Bauteilen
- Nassläuferpumpen mit Differenzdruckregelung, nicht wirkungsgradoptimiert
- Strangregulierventile, Differenzdruck-Regelorgane für den Hydraulischen Abgleich

Energetisch optimierte Auslegung

Die Physik machte es uns eigentlich sehr einfach alle Druckverluste zu reduzieren, da das Gesetz $E = \frac{1}{2} m v^2$ gilt. Eine Reduzierung der Geschwindigkeiten durch Wahl größerer Dimensionen aller Anlagenteile ist hier angesagt.

- Druckverlustarmes Rohrnetz mit ≤ 50 Pa/m
- Armaturen alle druckverlustarm ausgelegt, zum Teil größer als Rohrdimensionierung
- Diffusoren an den Pumpen, optimierte Übergänge an allen Bauteilen
- Trockenläuferpumpen mit Differenzdruckregelung, im Haupt-Arbeitsbereich wirkungsgradoptimiert

- Beachtet man die Passivhauskriterien so kann auf Strangreguliertventile bzw. Differenzdruck-Regelorgane verzichtet werden

Beispielsystem Rohrnetz Projekt Qingdao

Wir nutzen für den Vergleich ein konkret gebautes hydraulisches Netz aus einem Projekt in Qingdao in China.

Es handelt sich um das Netz zur Wärme- und Kälteversorgung von Induktionsauslässen.

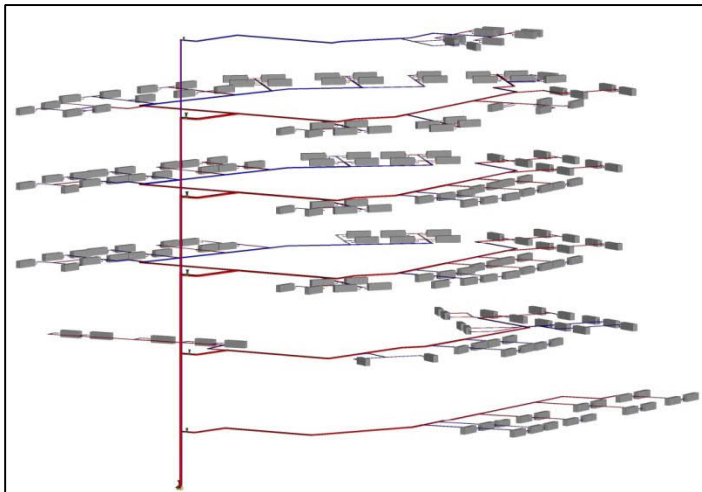


Abbildung 1: Rohrnetz Qingdao

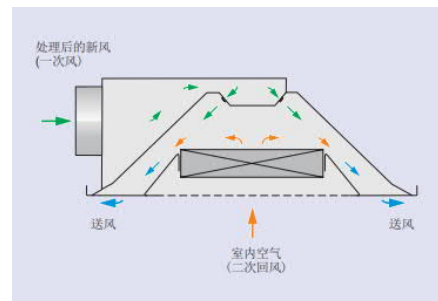


Abbildung 2: Induktionsauslass

Es wird im Winter mit erwärmtem Wasser und im Sommer mit gekühltem Wasser gefahren, hat also sehr hohe Laufzeiten. Alle Räume sind mit Temperaturregelungen ausgerüstet, die Regelventile an den Induktionsauslässen ansteuern. Die Pumpe des hier betrachteten Systems fährt also ganzjährig im Regelbetrieb. Für die Vergleichsrechnung wird zur Vereinfachung der Berechnung eine Volllaststundenzahl angenommen, die der Hälfte der Gesamtbetriebsstunden entspricht.

Netzdaten:

- Rohrlänge ca. 2000 m von DN 15 bis DN 150
- Ca. 200 Induktionsauslässe, 14 Netzarmaturen, 400 Armaturen an Induktionsgeräten
- Auslegungsvolumenstrom 66 m³/h
- Jahresbetriebsstunden 7000 h/a / Volllastbetriebsstunden 3500 h/a

Komponenten für Auslegung	Standard	Energieoptimiert
Rohrnetzberechnung Auslegungsgröße	100 - 200 Pa/m	50 Pa/m
Absperrarmaturen	Ventile	Klappen
Schmutzfänger	in Rohrdimension	eine Dimension größer
Rückschlagarmaturen	Ventile	Motor auf Absperrklappe
Rohrübergänge	Standardfittings	Diffusoren
Pumpen	Naßläuferpumpen	Trockenläuferpumpen

Tabelle 1: Komponenten für die Auslegung im Vergleich

Ergebnis der Auslegung	Standard	Energieoptimiert
Erforderlicher Differenzdruck Gesamtnetz [mWS]	7,3	3,8
Differenzdruck Armaturen [mWS]	2,4	0,3
Auslegungs-Betriebspunkt Pumpe	66 m ³ /h, 10 mWS	66 m ³ /h, 5 mWS
Erforderliche elektrische Leistung Pumpe [kW]	2,790	1,412
Stromverbrauch bei VB 3500 h [kWh/a]	9.765	4.942
Energiekosten bei 0,22 €/kWh Strompreis [€]	2.148,30	1.087,24
Vergleich zu Standard [€/a]		-1.061,06

Tabelle 2: Ergebnis der Auslegung im Vergleich

Rohrnetz	Optimiertes Rohrnetz, größere Dimensionen	6.338,50 €
Absperrarmaturen	Klappen statt Absperrventile	-1.211,00 €
Schmutzfänger	eine Dimension größer	192,00 €
Rückschlagarmaturen	Motor auf Klappen anstatt Rückschlagventile	94,00 €
Rohrübergänge	Diffusoren auf Pumpe	150,00 €
Regelorgane	Strangreguliertventile entfallen, dafür Klappen	-973,00 €
Pumpen	kleinere Pumpe, da geringerer dp	-861,02 €
Vergleich zu Standard		3.729,48 €

Tabelle 3: Aufstellung der Mehr- und Minderkosten

Einer jährlichen Einsparung von 1.061,- € stehen Investitions-Mehrkosten 3.730,- € gegenüber. Diese Mehrkosten haben sich also in weniger als 4 Jahren amortisiert.

In dem hier behandelten Projekt in Qingdao zeigte sich die Diskrepanz zwischen „Standardauslegung“ und einer optimierten Auslegung in extremer Weise, da die oben beschriebenen energetischen Optimierungen in China noch wenig in den Planungsprozess Einlaß gefunden haben. Die chinesischen Kollegen waren aus ihren bisherigen Planungsgrundlagen gewohnt, daß Heizungspumpen für größere Rohrnetze mindestens einen Differenzdruck von 15-20 mWS benötigen. Tatsächlich waren es dann 3,8 mWS.

Allgemeine Optimierungen der Hydraulischen Bauteile

Es gibt einige grundsätzliche Optimierungsmaßnahmen, die in allen Anlagen überprüft werden sollten. Zum Vergleich sind immer die Druckverlustwerte (Zeta-Werte) angegeben.

- Alle Pumpen mit Frequenzumformer (heute Standard), aber wirkungsgradoptimiert ausgelegt im Haupt-Arbeitsbereich, nicht bei Max-Leistung
- Absperrklappen oder Kugelhähne mit geringsten Druckverlusten anstatt Absperrventilen wo technisch möglich



Abbildung 3: Absperrventil
Zeta =



Abbildung 2: Absperrklappe
Zeta =

- Einsatz von Klappen mit Motorantrieb anstatt Rückschlagventilen wo technisch noch notwendig



Abbildung 3: Rückschlagventil
Zeta =



Abbildung 6: Absperrklappe
Zeta =

- Schmutzfänger und Rückschlagklappen immer eine Dimension größer als die zugehörige Leitung



Abbildung 4: Schmutzfänger
Zeta =



Abbildung 5: Schmutzfänger mit größerer Dimension in Rohrleitung
Zeta =

- Notwendigkeit des Einsatzes von Strangregulierventilen prüfen – bei energetisch optimal ausgelegten Anlagen sind diese normalerweise nicht mehr notwendig
- Diffusor nach „Strömungsmaschine“ Pumpen, Stoßverluste (Turbulenzen) minimieren. Spart bis zu 10% der Pumpenleistung!

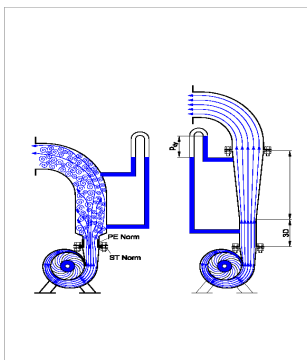


Abbildung 6: Strömungsverhalten nach Pumpe mit und ohne Diffusor, Verbesserung Zeta Faktor 10!



Abbildung 10: Beispiel Diffusor

Lüftungstechnik

Das Optimierungspotential im Bereich der Lüftungstechnik soll anhand einer Schwimmbad-Lüftungsanlage deutlich gemacht werden. Die Anlage muß auf Grund der Wasserverdunstung in der Halle ganzjährig in Betrieb sein, hat also sehr hohe Laufzeiten, das Einsparpotential ist also hier besonders hoch.

Auch hier sind die üblicherweise verwendeten Planungsgrundlagen in der Haustechnik nicht auf möglichst niedrigen Energieverbrauch ausgelegt.

Standardauslegung:

- Kanalnetzberechnung mit Standardwerten der Luftgeschwindigkeiten von 5 bis 10 m/s
- Standard-Regelungsbauteile in Kanaldimension nach Kanalnetzberechnung
- Standardübergänge an allen Bauteilen
- Auslegung der Ventilatoren auf Maximalleistung

Energetisch optimierte Auslegung

- Kanalnetzberechnung mit Luftgeschwindigkeiten von 3 bis 5 m/s
- Optimierung der Regelungsbauteile nach energetischen Gesichtspunkten
- Alle Übergänge an den Bauteilen energetisch optimiert (Bögen anstatt Winkel, Luftleitbleche etc.)
- Energieoptimierte Auslegung der Ventilatoren auf Leistung im Haupt-Arbeitsbereich

Beispiel Hallenbad

Minimierte Kanaldruckverluste

Der Standardwert „externe Druckverluste für die Kanalnetze (AUL + ZUL bzw. ABL+FOL incl. Schalldämpfer)“ werden von den Geräteherstellern mit 400 bis 600Pa angesetzt und in dieser Größenordnung in der Praxis auch häufig geplant. Im hier behandelten Standard-Vergleichsbad erfolgte eine Auslegung mit einem externen Druckverlust von 500 Pa. Im energetisch optimierten Bad liegt der externe Druckverlust mit 220 Pa deutlich niedriger.

Minimierte Druckverluste des Lüftungsgerätes, insbesondere des Tauschers

Die internen Druckverluste sind prinzipiell durch Wahl eines größeren Gerätes einfach zu reduzieren ($E=1/2mv^2$). Eine besondere Bedeutung kommt der Auswahl des Wärmerückgewinnungsaggregats zu.

Im energetisch optimiertem Bad wurde ein doppelter Plattenwärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 89% (feucht; 73% trocken, bei 100% Volumenstrom) und einem Druckverlust von 160 Pa eingesetzt. Bei Teillast ist der Wirkungsgrad deutlich über 90% (feucht) und 75% (trocken) und erfüllt damit das Passivhauskriterium. Im Standard-Vergleichsbad liegt der Wärmerückgewinnungsgrad bei 78% (feucht bei 100% Volumenstrom). Der Druckverlust liegt bei 300Pa.

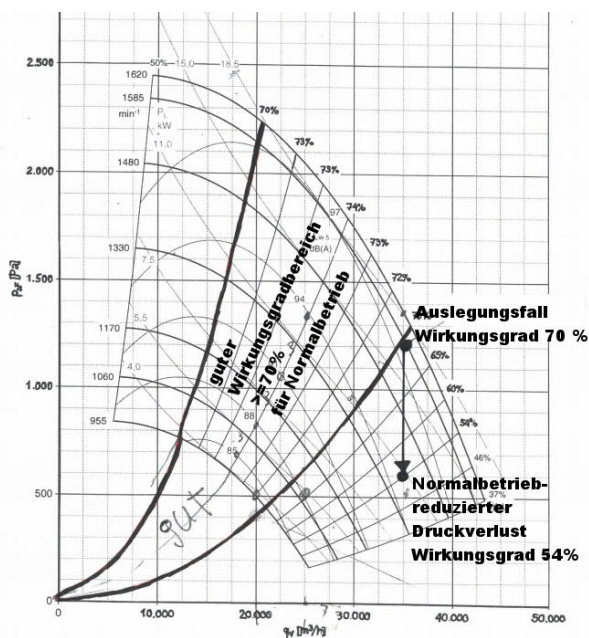
Ventilator bei der Auslegung im tatsächlichen Betriebspunkt optimieren

Ein großes Einsparpotential kann dadurch erschlossen werden, dass der Ventilator so gewählt wird, dass der optimale Wirkungsbereich im tatsächlichen Betriebspunkt liegt und nicht im maximalen Auslegungsfall. In der Praxis findet man häufig folgende Situation: Die Auslegung der Anlage enthält viele Sicherheiten bezüglich der notwendigen

Ventilatorpressung. Hinzu kommen die variierenden Druckverluste von Filtern und Bypässen usw. Durch die Drehzahlregelung der Ventilatoren über Frequenzumformer kann der tatsächlich benötigte Förderdruck in einem weiten Bereich angepasst werden. Der Druckverlust wird so bei der Auswahl des Ventilators tendenziell zu hoch (maximaler Auslegungsfall) angesetzt. Der tatsächliche Betriebspunkt (bei deutlich geringerem Druckverlust) liegt dann häufig in einem deutlich schlechteren Wirkungsgradbereich. Das kann in der Praxis durchaus 25% mehr Stromverbrauch bedeuten. Anschaulich wird dieser Zusammenhang in Abbildung 1 dargestellt.

Als Faustformel für die „Strömungsmaschine“ Ventilator gilt:

Geringe Drücke erfordern einen großen Ventilator mit kleinem Motor
 Große Drücke erfordern einen kleinen Ventilator mit großem Motor.



**Abbildung 11: Ventilatorcharakteristik
 Veränderung des Wirkungsgrads für
 unterschiedliche Betriebspunkte
 (maximaler Auslegungsfall-
 Normalbetrieb)**

Die nach Standard ausgelegte Schwimmhallenanlage hat eine spez. elektr. Ventilatorleistung von ca. $1 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($3600 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$; Zuluft + Abluft). Die Lüftungsanlage im energetisch optimierten Bad benötigt aufgrund einer konsequenten hydraulischen Optimierung lediglich eine spez. Leistung von $0,38 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($1370 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$). Das Passivhauskriterium schreibt für die Zertifizierung von Lüftungsgeräten einen Kennwert von $0,45 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($1640 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$) vor [Passivhaus Institut, 2012]. Betrieben werden die Anlagen mit durchschnittlich ca. 2/3 des maximalen Volumenstroms, bei ca. 1/3 der elektrischen Leistung. Hieraus ergeben sich für den Normalbetrieb ca. $0,19 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($680 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$) für das energetisch optimierte Bad und ca. $0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ($1800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$) für das Standardbad.