

Umluftanlagen effizient betreiben – dank gemessenem Außenluftanteil

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (TU) Jens Amberg, Geschäftsführer der Luftmeister GmbH, Kirchzarten

Zu den zahlenmäßig wichtigsten RLT-Anlagentypen zählen die sogenannten „Umluftanlagen“. Überall dort, wo die Abluftqualität es zulässt, einen Teil der Abluft als Zuluft wiederzuverwenden, kommt dieser Anlagentyp in Betracht. Der wirtschaftliche Vorteil besteht darin, dass die Zuluft-Aufbereitung sich weitgehend auf den jeweiligen Außenluftanteil konzentrieren kann, denn die Abluft hat i.d.R. schon ungefähr das Temperaturniveau der Zuluft.

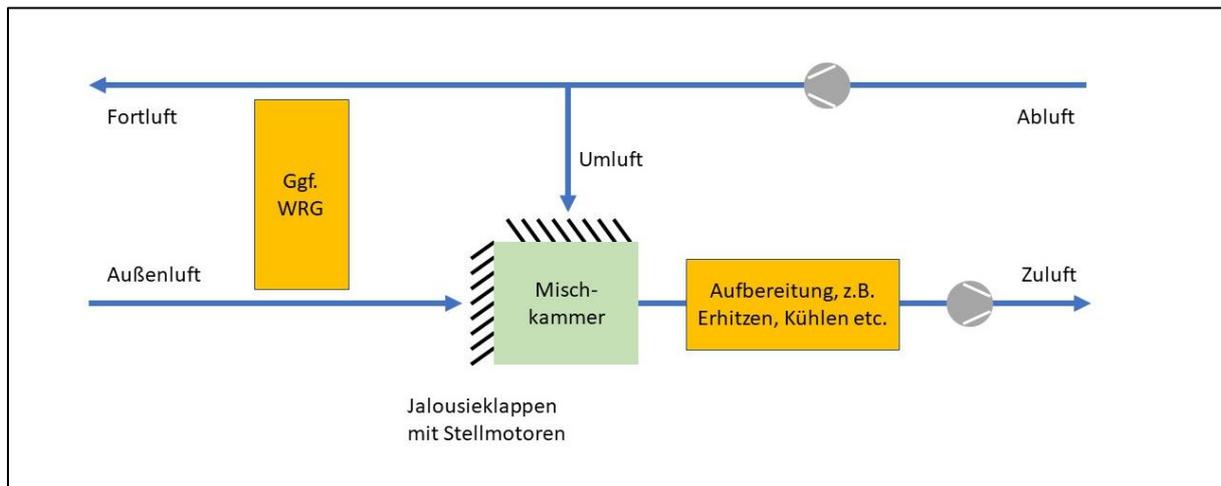


Abbildung 1: Aufbauprinzip einer Umluftanlage

In der Praxis werden die meisten Umluftanlagen jedoch deutlich unwirtschaftlicher betrieben als gewünscht. Woran aber liegt das?

Der Außenluftanteil, also der Anteil der Außenluft an der Zuluft, wird in der sog. „Mischkammer“ eingestellt. Hier werden Jalousieklappen motorisch so gedreht, dass sich ein gewisses Mischungsverhältnis Außenluft zu Umluft einstellt. In der Praxis sehr zu unterscheiden ist dabei der

- Sollwert des Außenluftanteils vom
- Istwert des Außenluftanteils

Der Sollwert wird, in der Regel durch die Gebäudeleittechnik (GLT), entsprechend der Regellogik der Anlage gebildet, wobei je nach Anlagentyp die folgenden Ziele eine Rolle spielen können:

- Es soll zu keinem Zeitpunkt ein minimaler Außenluftanteil (von x %) unterschritten werden, um den Raumnutzern eine ausreichende Frischluftversorgung zu gewährleisten.
- Falls Raumsensoren verfügbar sind: der Außenluftanteil soll (oberhalb des o.g. Minimums) nur so lange gesteigert werden, bis im Raum der Temperatur-oder CO₂-Wert passend sind.
- In Sonderanlagen wie Schwimmbädern: der Außenluftanteil soll (oberhalb des o.g. Minimums) so klein wie möglich gehalten werden, mit der Maßgabe, dass die Zuluftfeuchte in einem gewünschten Wertebereich bleibt.

Auf Basis dieses Sollwerts steuert die GLT die motorisch verstellbaren Jalousieklappen der „Mischkammer“ an. Ideal wäre es nun, wenn dadurch auch wirklich der gewünschte Istwert eingestellt würde. Hier aber liegt der Hase im Pfeffer. Zum einen verhalten sich die Jalousieklappen sehr nicht-linear, d.h. der durchtretende Volumenstrom verändert sich nicht im Gleichlauf mit dem Jalousie-Drehwinkel. Des Weiteren weisen sie eine starke Hysterese auf, d.h. beim Öffnen und Schließen ergeben sich beim selben Drehwinkel unterschiedliche Volumenströme. Zudem werden die Jalousieklappen-Stellungen meist nur im Fertigungswerk der RLT-Zentralanlage auf feste Werte eingestellt, nicht aber im Zuge der Anlageninbetriebnahme vor Ort den örtlichen Begebenheiten

entsprechend angepasst. Die tatsächlichen Druckverhältnisse in Außenluft, Zuluft, Abluft und Fortluft hängen aber vom jeweils installierten Luftleitungssystem ab, so dass sich ganz unterschiedliche Zusammenhänge zwischen der Jalousiestellung und dem resultierenden Außenluftanteil ergeben können! Und zu guter Letzt: Umbauten der Luftleitungssysteme im Laufe der Nutzungsphase sowie Alterung der Komponenten tun ihr Übriges, um den Istwert des Außenluftanteils in andere Wertebereiche geraten zu lassen als gedacht und als vom Sollwert vorgegeben!

Dazu einige Daten aus der Praxis: Bei den von der Luftmeister GmbH ausgestatteten Umluftanlagen war festzustellen, dass der Ist-Wert fast immer über 10% vom Soll-Wert abwich, teilweise sogar 20 bis 40%. Konkret gab es sogar eine Anlage, bei der seit über 20 Jahren Betriebslaufzeit ein Soll-Wert des Mindest-Außenluftanteils von 25% vorlag, der Ist-Wert aber durchgehend bei 0% lag! Es kam also auf diesem Weg nie Frischluft in die Halle! Erst bei einem Hochdrehen des Sollwertes auf über 45% im Zuge der Anlagenoptimierung begann der Ist-Wert von Null an zu steigen (rote Kurve in Abbildung 2). In den meisten Fällen zeigen sich dagegen übersteigerte Ist-Werte, d.h. bei gewünschten 25% werden tatsächlich über 35% und mehr an Außenluft geliefert (blaue Kurve in Abbildung 2).

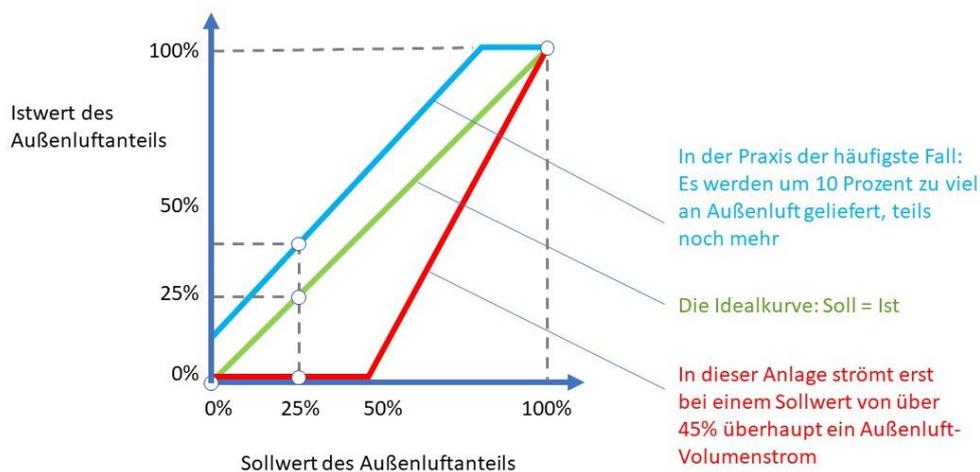


Abbildung 2 - Außenluftanteil-Sollwert und -Istwert - Ideal und Praxissituation

Beide Abweichungen sind sehr relevant:

- Ein Zuviel an Außenluft bringt überhöhte Kosten für die Luftaufbereitung (speziell: Erhitzung der kalten Winter-Außenluft) und somit Verschwendung an Energie und Geld (siehe Wirtschaftlichkeitsberechnung in Abb. 5)
- Ein Zuwenig an Außenluft bringt eine zu geringe Frischluftversorgung der Nutzer, somit eine verminderte Produktivität und im Extremfall eine Verletzung der gesetzlichen Pflichten des Arbeitgebers

Die Luftmeister GmbH, Spezialistin für präzise Volumenstrom- und Wärmestrommessung in Klimaluft, Prozessluft und Rauchgas, hat für diesen wichtigen Anwendungsfall eine effiziente Lösung erarbeitet und in zahlreichen Projekten angewendet. Die Grundüberlegung ist, dass der Istwert des Außenluftanteils präzise gemessen werden muss, anstatt einfach (und meist fälschlich) anzunehmen, dass sich dieser aufgrund der werkseitig vorgenommenen Jalousieklappen-Ansteuerung korrekt einstellen würde.

Konkret stattet Luftmeister sowohl den Außenluft-Kanal als auch den Zuluft-Kanal jeweils mit einer präzisen Luft-Volumenstrom-Messlösung aus, siehe Abbildung 3. Hierbei werden Präzisionssonden (Luftmeister Kassel) und hochgenaue Messumformer (Luftmeister VS 48) eingesetzt und mit einer

Multipunkt-Kalibration vor Ort eingemessen. Bei der Einmessung wird dabei die internationale Norm DIN EN ISO 12599 befolgt, ergänzt um die patentierte Luftmeister-Kalibriermethode. Im Ergebnis erhält man somit für den Außenluft-Volumenstrom und den Zuluft-Volumenstrom jeweils kontinuierliche, präzise Volumenstrom-Messwerte, d.h. verlässliche Ist-Werte dieser beiden Größen. Eine besondere Herausforderung stellt dabei häufig die Außenluft dar, denn zum Teil bestehen hier nur sehr kurze Kanallängen, oder im Extremfall strömt die Außenluft über ein Wetterschutzgitter und die Außenluft-Jalousieklappen direkt in die Mischkammer, ohne überhaupt einen Luftkanal zu durchströmen. Abbildung 3 zeigt unterschiedliche Messstellen-Umsetzungen in der Praxis.



Einbau von je zwei Präzisionssonden „Luftmeister Kassel“ in Zuluft- und Außenluftkanal, mit symmetrischer Verschlauchung. Die gelben Kappen verschließen die Kalibrieröffnungen

Beispiel-Anordnung der beiden Volumenstrom-Messumformer „Luftmeister VS 48“

Projekt unter Spezialbedingungen: Messung direkt vor einer Jalousieklappe (hier: der Umluft), bei fehlendem Anströmkanal

Abbildung 3: Beispiele von Luftmeister-Messlösungen

Beide Volumenstrom-Messwerte werden kontinuierlich der GLT übergeben, z.B. in Form von 4..20 mA- oder 0..10 V-Signalen. Dort wird dann fortwährend der Quotient gebildet, so dass der tatsächliche aktuelle Außenluftanteil jederzeit bekannt ist, siehe Abbildung 4.

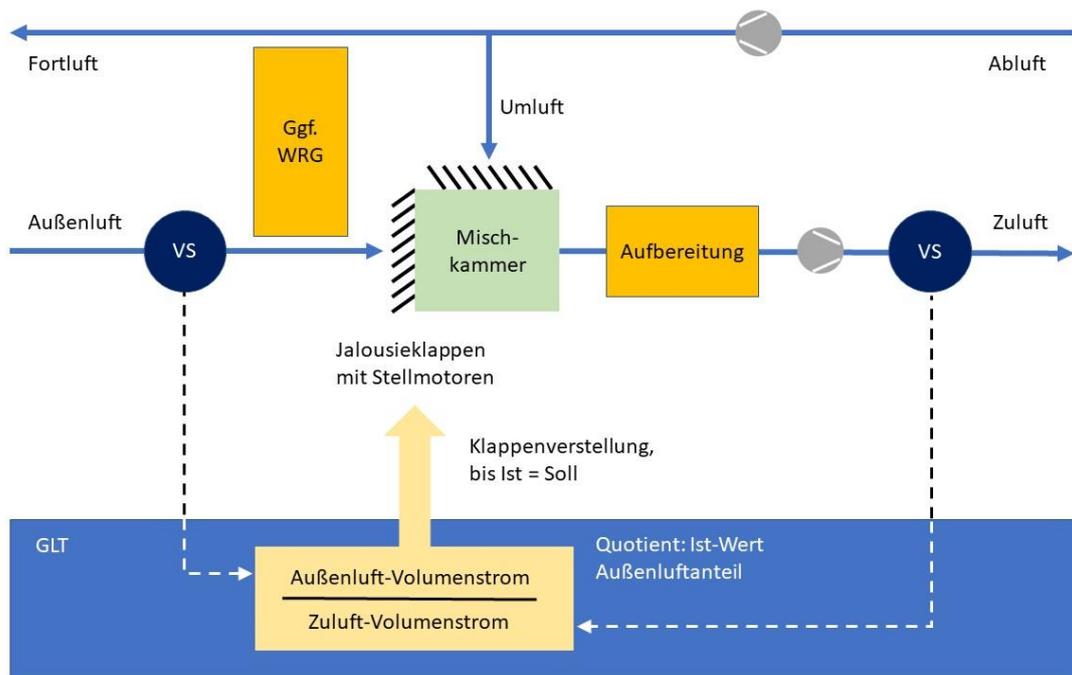


Abbildung 4 - Umlufanlage mit den beiden Volumenstrom-Messstellen (VS) und dem GLT-Quotienten zum Ist-Außenluftanteil

Fordert nun die Regelung z.B. einen (Mindest-) Außenluftanteil von 20% an, so werden die Jalousie-Motoren so lange angesteuert, bis der o.g. GLT-Quotient auch tatsächlich 20% beträgt.

Anstatt also mit der Außenluftfrate z.B. dauerhaft um 10 Prozent zu hoch zu liegen, erhält man das tatsächlich gewünschte Mischungsverhältnis, also Ist = Soll! Die folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, welche Auswirkung es hat, wenn man ganzjährig eine um 10% (der Zuluftmenge) zu hohe Außenluftmenge aufbereiten muss:

Einsparrechner Luftmeister

Umluft/Außenluft

Fragestellung: Welche Einsparungen ergeben sich, wenn anstelle von 25% AuL-Anteil tatsächlich 35% gefahren werden?

$$\text{Zusatz-Erhitzung / Zusatz-Kühlung} = (\text{Delta-VS-AuL}) \cdot (\text{Dichte_AuL} \cdot \text{Enthalpie_AuL} - \text{Dichte_ZuL} \cdot \text{Enthalpie_ZuL})$$

Wetterdaten

Ziel-ZuL-Temp = 20°C

Anlagendaten: 20.000 m3/h ZuL-Volumenstrom, keine WRG

Berechnungsbasis: 10% des ZuL-VS

Delta-VS-AuL = (Soll-VS-AuL - Ist-VS-AuL)		VS_ZuL = 20000 m3/h				
Soll-VS-AuL = Soll_VS-AuL-Prozentsatz * VS_ZuL		25 %			Delta-VS-AuL = 2.000 m3/h	
Ist-VS-AuL = Ist_VS-AuL-Prozentsatz * VS_ZuL		35 %				
Welchen Anteil der Abl-Wärme überträgt die WRG tatsächlich?		WRG-Faktor = 0 %				

Vereinfachende Annahme: rel. Feuchte im Mittel 50%rF, barometrischer Absolutdruck: 1.015,25 hPa
 Aus der obigen Darstellung werden jeweils 2 Gradschritte zu einem zusammengefasst

Wärmefaktor Wf = (Dichte_AuL * Enthalpie_AuL - Dichte_ZuL * Enthalpie_ZuL) [kJ/m3] * (100% - WRG-Faktor)

Luftmeister	Temp. [°C]	Dichte [kg/m³]	Enthalpie [kJ]	Dichte*Enthalpie	Gradstunden	Häufigkeit [%]	Wärmefaktor	Delta-VS-AuL	Erwärmungs-/Kühlleistung [m³/h * kJ/m³]=[kJ/h]	[kW]	* Gradstunden [kWh]
Ziel-ZuL	20	1,19	38,6	45,93	8760	100					
AuL	-10	1,34	-7,9	-10,59	50	0,59%	-56,520	2000	-113040,00	-31,4	1.570
	-8	1,33	-5,5	-7,32	50	0,59%	-53,249	2000	-106498,00	-29,6	1.479
	-6	1,32	-3,1	-4,09	83	0,98%	-50,026	2000	-100052,00	-27,8	2.307
	-4	1,31	-0,6	-0,79	131	1,54%	-46,720	2000	-93440,00	-26,0	3.400
	-2	1,30	2,0	2,60	243	2,86%	-43,334	2000	-86668,00	-24,1	5.850
	0	1,29	4,7	6,06	401	4,72%	-39,871	2000	-79742,00	-22,2	8.882
	2	1,28	7,5	9,60	570	6,71%	-36,334	2000	-72668,00	-20,2	11.506
	4	1,27	10,3	13,08	698	8,21%	-32,853	2000	-65706,00	-18,3	12.740
	6	1,26	13,3	16,76	796	9,36%	-29,176	2000	-58352,00	-16,2	12.902
	8	1,25	16,4	20,50	809	9,52%	-25,434	2000	-50868,00	-14,1	11.431
	10	1,24	19,6	24,30	811	9,54%	-21,630	2000	-43260,00	-12,0	9.746
	12	1,23	23,0	28,29	825	9,71%	-17,644	2000	-35288,00	-9,8	8.087
	14	1,22	26,6	32,45	820	9,65%	-13,482	2000	-26964,00	-7,5	6.142
	16	1,21	30,4	36,78	729	8,58%	-9,150	2000	-18300,00	-5,1	3.706
	18	1,20	34,3	41,16	598	7,04%	-4,774	2000	-9548,00	-2,7	1.586
	20	1,19	38,6	45,93	427	5,02%	0,000	2000	0,00	0,0	-
	22	1,18	43,1	50,86	286	3,36%	4,924	2000	9848,00	2,7	782
	24	1,17	47,8	55,93	188	2,21%	9,992	2000	19984,00	5,6	1.044
	26	1,16	52,9	61,36	117	1,38%	15,430	2000	30860,00	8,6	1.003
	28	1,15	58,4	67,16	68	0,80%	21,226	2000	42452,00	11,8	802
	30	1,14	64,2	73,19	36	0,42%	27,254	2000	54508,00	15,1	545
	32	1,13	70,5	79,67	17	0,20%	33,731	2000	67462,00	18,7	319
	34	1,12	77,2	86,46	5	0,06%	40,530	2000	81060,00	22,5	113
	36	1,11	84,5	93,80	2	0,02%	47,861	2000	95722,00	26,6	53

Der Wärmeverlust wird mit dem Wärmepreis multipliziert, um die Wärmekosten zu erhalten:

Wärmepreis	0,15 €/kWh	Summe "rot":	101.333 [kWh]
		Summe "blau":	- 4.660 [kWh]

Der Kühllasteintrag wird mit dem Kühllastpreis multipliziert, um die Kühllastkosten zu erhalten:

Fazit: Bei einer Außenluftfrate von 35% anstelle von 25% ergeben sich jährliche zusätzliche Erhitzerverbräuche von ca. 100.000 kWh

Fazit: Bei einer Außenluftfrate von 35% anstelle von 25% ergeben sich jährliche zusätzliche Erhitzungskosten von ca. 15.000 Euro + zusätzliche Kühllungskosten von ca. 1.400 Euro

Daraus ergibt sich jährlich Folgendes:

	W.menge [kWh]	sten [€/kWh]	Kosten [€]
Erhitzung	101.333	0,15	15.200,00
Kühlung	4.660	0,3	1.398,06
			16.598,06

Kühlkosten entfallen, da hier keine Kühlfunktion enthalten ist

Abbildung 5: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – welche Zusatzverbräuche und Energiekosten ergeben sich, wenn anstelle von 25% Außenluftanteil tatsächlich 35% gefahren werden?

Welche Amortisationszeiten ergeben sich bei der vorgestellten Effizienzmethode für Umluftanlagen? Die Haupt-Einflussgrößen sind hier der Zuluft-Volumenstrom und die Fragestellung, ob die Fortluft-Wärme mit Hilfe einer Wärmerückgewinnung (WRG) auf die Außenluft übertragen wird oder nicht; siehe dazu auch den „Wärmefaktor“ in Abbildung 5.

Überschlägig gelten die folgenden Amortisationszeiten, wobei die Vollkosten inklusive Verkabelung und GLT-Anpassung einberechnet wurden:

Typische Amortisationsdauer →	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre
Umluftanlagen mit WRG für einen Zuluft-Volumenstrom von...	40.000 m ³ /h	20.000 m ³ /h	15.000 m ³ /h
Umluftanlagen ohne WRG für einen Zuluft- Volumenstrom von...	16.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h	5.000 m ³ /h

Tabelle 1: Typische Amortisationszeiten der Umluft-Effizienzmaßnahme, in Abhängigkeit vom Zuluft-Volumenstrom und vom Vorhandensein einer WRG

Mit Blick auf die Tatsache, dass in Deutschland einige Zehntausend Umluftanlagen betrieben werden, ergibt sich insgesamt ein sehr interessantes Kosteneinspar- und Dekarbonisierungspotenzial, das Anlagenbetreiber wie Planer gleichermaßen interessiert und bislang weitgehend brachlag.

Infokasten:

Umluftanlagen verschwenden meist unnötig Energie und Betriebskosten. Hintergrund ist der meist zu hoch eingestellte Außenluftanteil. Mit Hilfe einer präzisen, kontinuierlichen Volumenstrom-Erfassung in Zuluft und Außenluft (mit patentierten Luftmeister-Kalibriermethoden) wird der tatsächliche Außenluftanteil gemessen und exakt eingeregelt. Dies mündet in Amortisationszeiten von 1-3 Jahren und führt zu einer erheblichen CO₂-, Energieverbrauchs- und Kostensenkung.