

Schlussbericht **Dezember 2004**

BFE Programm Elektrizität

Energieeffizientes Kühlen von IT-Räumen

ausgearbeitet durch

Adrian Altenburger
Amstein+Walthert AG
Andreasstrasse 11
8050 Zürich

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	2
Résumé	2
Abstract.....	2
1. Einleitung	3
2. Ausgangslage und Zielsetzung	4
2.1. Definition IT-Raum	4
2.2. Stromverbrauch in IT-Räumen	5
2.2.1. Energetische Relevanz im Gesamtstrommarkt Schweiz.....	5
2.2.2. Energetisches und ökonomisches Potenzial.....	5
2.2.3. Typische Stromverbrauchsaufteilung von bestehenden IT-Räumen.....	6
2.3. Zielsetzung	8
3. Begleitprojekt Messe Basel	9
3.1. Messung vor der Sanierung (IST-Zustand)	10
3.1.1. Stromverbrauch IT-Prozess (Computer)	10
3.1.2. Stromverbrauch HLK-Prozess	10
3.2. Messung nach der Sanierung (SOLL-Zustand)	12
3.2.1. Stromverbrauch IT-Prozess (Computer)	12
3.2.2. Stromverbrauch HLK-Prozess	12
3.3. Effizienzsteigerung durch Sanierung	14
4. Empfehlungen für die Anlagenauslegung	15
4.1. Kälteerzeugung (Freecooling & Kaltwassertemperatur)	15
4.2. Kälteabgabe (Raumtemperatur & Luftförderung)	20
4.3. Regelung (Einbezug Standby-Potential)	25
5. Controlling / Messkonzept	26
6. Planungsanleitung.....	28
6.1. Phase "Bedarfsdaten und Systemstrategie"	29
6.2. Phase "Projektierung"	30
6.3. Phase "Ausführung"	31
6.4. Phase "Betrieb"	32

Zusammenfassung

In einer Informationsdokumentation werden den HLK-Planern und den IT-Betreibern die relevanten Parameter und Zusammenhänge für eine energetisch effiziente Kühlung von IT-Räumen anhand von Messresultaten und Berechnungen aufgezeigt. Zusätzlich werden die relevanten Vorgehensschritte und Entscheide für jede Planungsphase und das Energiecontrolling in der Betriebsphase im Sinne einer Checkliste zur Verfügung gestellt. Die Aussagen werden einerseits durch die aus IT-Betreibern, HLK-Planern und Gerätelieferanten zusammengesetzte Expertengruppe und andererseits durch eine projektbegleitende Sanierung eines IT-Raumes der Messe Basel mit Messungen der Energieverbräuche vor und nach der Sanierung gefestigt.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Stromverbrauchsanteil für die Kühlung von IT-Räumen von heute ca. 50% auf unter ca. 30% für bestehende und auf unter ca. 20% des Gesamtstromverbrauchs für neue IT-Räume gesenkt werden könnte. Im wesentlichen ist dazu das Ausnutzen der freien Kühlung (Free Cooling) mittels höheren Kaltwassertemperaturen von 14/20°C, eine höhere mittlere Raumtemperatur von 26°C, Umluftkühlgeräte mit hohen Ventilatorwirkungsgraden sowie eine gezielte Luftführung mit möglichst geringen Druckverlusten sicherzustellen.

Résumé

Dans une documentation d'information, les paramètres et liens pertinents pour un refroidissement au niveau énergétique efficace de IT-areas sont précisés aux planneurs et aux IT-operateurs au moyen des par résultats de mesure et des calculs. En plus les étapes de procédure et décisions pertinentes mis à la disposition pour chaque phase de planification et le contrôle énergétique dans la phase d'exploitation dans le sens d'une liste de contrôle. Les déclarations sont renforcées d'une part par ceux des IT-operateurs, des planneurs et des fournisseurs d'appareils groupe d'experts composé et d'autre part par un assainissement d'un IT-area de la Messe Bâle avec les mesures des consommations d'énergie avant et après l'assainissement. Les études montrent que la part de consommation d'énergie électrique pour le refroidissement des IT-areas pourrait être abaissée d'aujourd'hui environ 50% à moins d'environ 30% pour existants et à moins d'environ 20% de la consommation d'électricité totale pour de nouveaux IT-areas. Utiliser du refroidissement libre (Free Cooling) est essentiellement essentiel au moyen des températures d'eau froide plus élevées de 14/20°C de garantir une plus haute température ambiante moyenne de 26°C, des appareils frais d'air circulé avec des degrés d'efficacité de ventilateur élevés ainsi qu'une conduite aérienne ponctuelle avec des pertes de charge aussi faibles que possible.

Abstract

In an information documentation the relevant parameters and connections for an efficient cooling of IT areas are pointed out to the HVAC planners and the IT operators on the basis by measuring results and computations. Additionally the relevant procedure steps and decisions for each planning phase and energy monitoring in the operating phase in the sense of a check list made available. The statements are strengthened on the one hand by the team of experts built up from IT operators, HVAC planners and equipment suppliers and on the other hand by an project-accompanying reorganization of an IT area of the Messe Basel with measurements of the energy consumption before and after the reorganization. The investigations show that the current consumption portion for the cooling of IT areas from today approx.. 50% on under approx.. 30% for existing and on under approx.. 20% of total value of current consumption for new IT areas to be lowered. In addition using the free cooling (Free Cooling) is essentially by means of higher chilled water temperatures of 14/20°C, a higher middle ambient temperature of 26°C to guarantee circulating air coolers with high fan efficiencies as well as a purposeful air circulation with as small a pressure losses as possible.

1. Einleitung

Das Bundesamt für Energie hat im Rahmen des Forschungsprogramms „Elektrizität“ innerhalb des Projekts „Energieeffizientes Kühlen von IT-Räumen“ die Erkenntnisse aus den verschiedenen Untersuchungen und Studien zur Stromeinsparung in IT-Räumen zusammengefasst und mit noch weitergehenden Aspekten ergänzt.

Daraus ist eine einfache und umsetzbare Planungshilfe, ein Controlling-System und eine Informationsdokumentation für HLK-Planer und IT-Betreiber entstanden.

Das Ziel, den Stromverbrauch für die Kühlung in IT-Räumen zu minimieren, kann im wesentlichen durch folgende Massnahmen beeinflusst werden:

- Nutzung von Free-Cooling
- Erhöhung der Kaltwasservorlauftemperatur von 6°C auf 14°C
- Erhöhung der mittleren Raumlufttemperatur auf von 22°C auf 26°C
- Optimierung der Luftführung
- Minimierung der Aussenluftmengen (Luftqualitätsabhängig)
- Be- und Entfeuchtung nur über Primärluftanlage (30-85%)
- Energieeffiziente Systeme und Systemkomponenten

Bei allen Betrachtungen zur Steigerung der energetischen Effizienz hat die Verfügbarkeit der IT-Prozesse erste Priorität und darf nicht aufgrund energetischer Optimierungen geschmälert werden.

Die aufgelisteten Aspekte sind sowohl bei den Planern als auch bei den Betreibern zu wenig verankert und werden deshalb in vielen Projekten zu wenig gefordert bzw. umgesetzt.

Die Studie beschränkt sich auf die zur Zeit noch mehrheitlich anzutreffenden IT-Räume mit luftgekühlten Racks. Mit der Zunahme der Rechnerleistungen und der spezifischen Wärmelast (z.B. Blade Server), kann in naher Zukunft auch eine Fluidkühlung (Direktkühlung der Server mittels Wasser oder anderem Fluid) interessant werden.

Die vorliegende Studie wurde von den nachstehenden Experten begleitet:

- H. Bruhin, Telekurs Services AG
- I. Zilio, COLT Telecom AG
- A. Marley, Liebert Hiross AG
- H.P. Portmann, Wolf Schweiz AG
- H. Mom, CTA AG
- H. Gmür, Todt Gmür Partner AG
- D. Többen, Dr. Eicher + Pauli AG

2. Ausgangslage und Zielsetzung

2.1. Definition IT-Raum

Als IT-Raum wird ein Raum bezeichnet, der ausschliesslich der elektronischen Datenverarbeitung dient und in dem aufgrund der installierten Geräte klimatische Bedingungen in vorgegebenen Grenzen permanent eingehalten werden müssen.

Für die weiteren Betrachtungen wurde eine minimale IT-Raumgrösse von 50 m² Bodenfläche definiert. Kleinere IT-Räume sind im Bezug auf die Versorgungssicherheit und somit der notwendigen Infrastruktur nur bedingt vergleichbar und werden oft ohne besondere klimatechnische Infrastruktur betrieben.

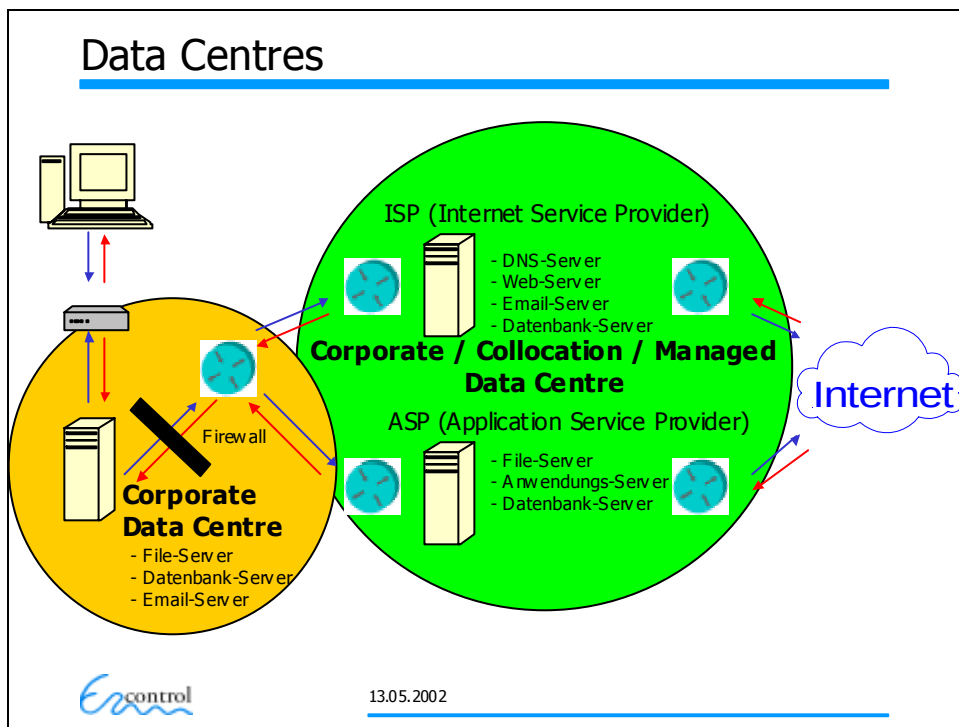
Die Nutzung eines IT-Raumes kann unterschiedlichen IT-Dienstleistungen dienen und unterschiedliche Besitzverhältnisse haben.

Folgende Typisierungen von IT-Räumen sind zur Zeit im Bezug auf Dienstleistung und Besitzverhältnisse anzutreffen:

Firmeneigene Anlage (Corporate Data Centres)

Anlage mit Mietflächen für Fremdgeräte (Collocation Data Centres)

Mietbare Anlage (Managed Data Centres)



Quelle: CEPE "Energy- and Eco-Efficiency of Data Centres", Genève (2002)

2.2. Stromverbrauch in IT-Räumen

2.2.1. Energetische Relevanz im Gesamtstrommarkt Schweiz

Der Anteil der Informationstechnik am Stromverbrauch in der Schweiz (2001 = 53'700 GWh/a) liegt bei etwa 10% (ca. 5400 GWh/a) , dies mit steigender Tendenz.

Ein Ende der Weiterentwicklung und Verbreitung der Informations- und Kommunikationstechnik ist zur Zeit nicht absehbar.

Der Stromverbrauch der Schweiz im Tertiärbereich beträgt gemäss der Gesamtenergiestatistik 2002 des BfE ca. 14'000 GWh/a bzw. ca. 26% des Gesamtstromverbrauchs. Bei insgesamt 2.6 Mio. oder ca. 75% aller Beschäftigten im Tertiärbereich ergibt sich ein spezifischer Stromverbrauch von rund 5'400 kWh/a pro Mitarbeiter.

Eine Untersuchung (BfE, A. Huser, 2002) des Anteils am gesamten Stromverbrauch der Schweiz für Server im Bereich der KMU (Betriebe mit weniger als 250 Mitarbeitern) ergibt einen Anteil von ca. 210 GWh/a.

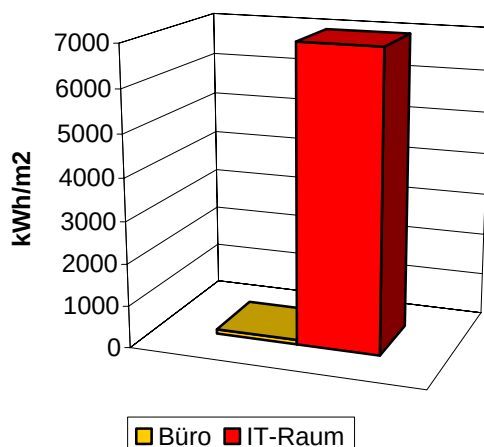
Ausgehend von ca. 15% oder 400'000 Beschäftigten in Grossunternehmen (> 250 Mitarbeiter) und einem Anteil der zentralen Informationstechnik von ca. 25% des mitarbeiterspezifischen Stromverbrauchs ergeben sich für Server im Bereich der Grossunternehmungen gesamtschweizerisch rund 540 GWh/a.

Gesamthaft (KMU und Grossbetriebe zusammen) ergibt sich somit ein Stromverbrauch für IT-Räume in der Schweiz von ca. 750 GWh/a bzw. ca. 5 % des Stromverbrauchs im Tertiärbereich.

2.2.2. Energetisches und ökonomisches Potenzial

Aufgrund des Betriebs von Datacentern während 24 Stunden pro Tag und über das ganze Jahr hinweg ist der flächenspezifische Strombedarf in IT-Räumen mit ca. 7000 kWh/m²,a (ca. Fr. 1'050.--/m²,a) rund 65 mal höher als in einem durchschnittlich technisierten Büro mit ca. 105 kWh/m²,a (ca. Fr. 16.--/m²,a).

Stromverbrauch Büro / IT-Raum pro m²



Dieses Verhältnis allein zeigt, dass der energetischen Effizienz in IT-Räumen nicht nur aus ökologischen sondern auch aus ökonomischen Gründen die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

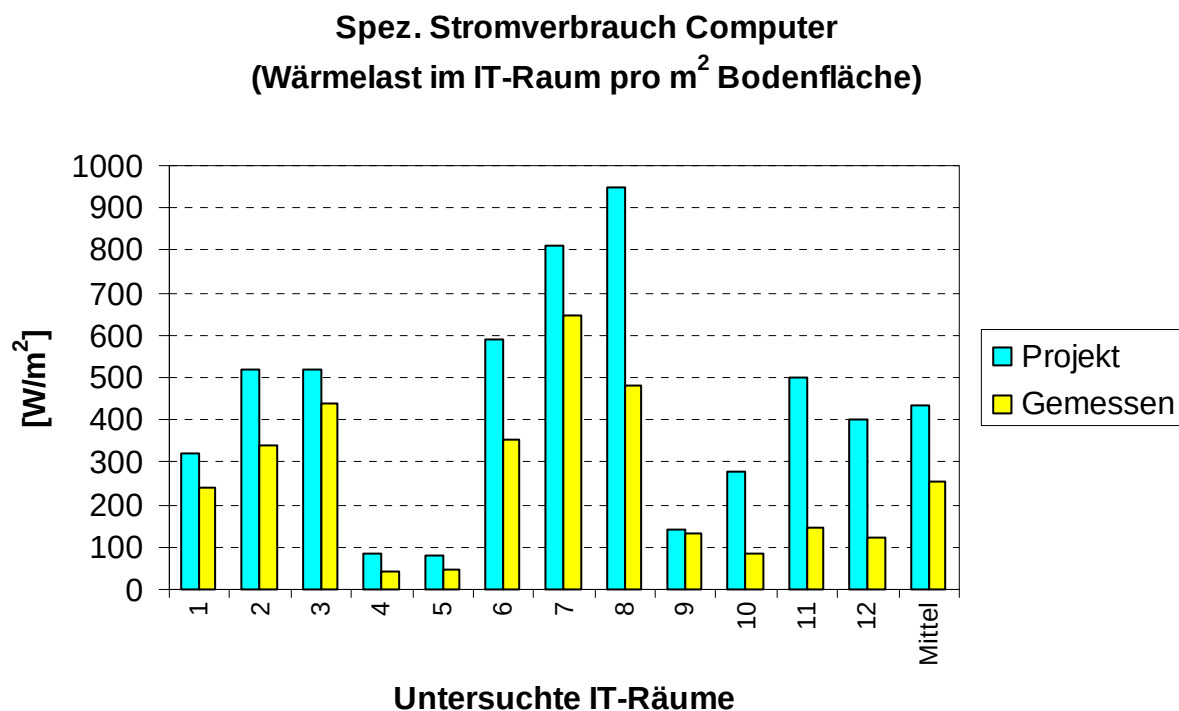
2.2.3. Typische Stromverbrauchsaufteilung von bestehenden IT-Räumen

Das Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) hat im Rahmen einer umfangreichen Energie-Benchmarkstudie im Jahr 2002 zwölf IT-Räume im Nordwesten (Silicon Valley) und Nordosten (New York) der USA ausmessen lassen.

Nebst den spezifischen Stromverbrauchsdaten des IT-Prozesses (W/m^2) wurden auch die Stromverbrauchsanteile der HLK-Infrastruktur am Gesamtstromverbrauch verglichen.

Die Ergebnisse der Studie sind nachfolgend zusammengefasst dargestellt und zeigen, dass es erhebliche Unterschiede nicht nur bei den spezifischen Stromverbräuchen sondern und vor allem bei den Stromverbrauchsanteilen der HLK-Infrastruktur gibt.

Während Erstere mit den unterschiedlich dicht konfigurierten Systemraumflächen erklärbar sind, sind Letztere im Wesentlichen auf die energetische Effizienz der HLK-Systeme zurückzuführen und zeigen das vorhandene Steigerungspotenzial auf.

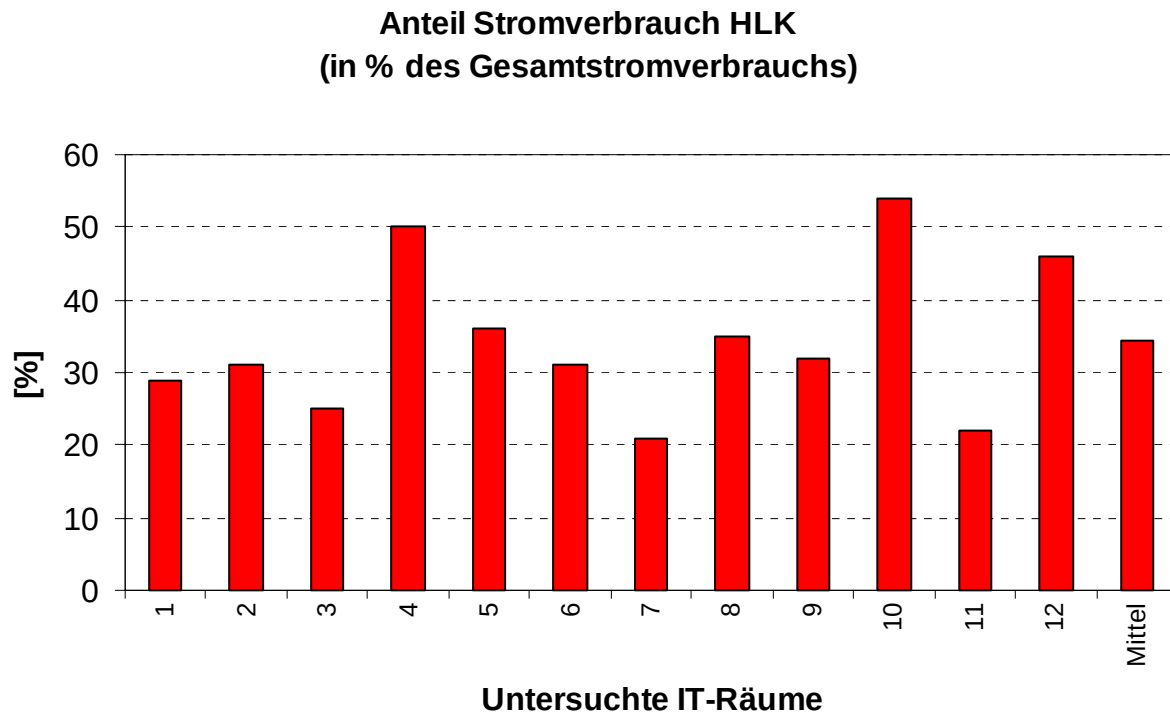


Quelle: Data Center Energy Benchmarking, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (2002)

Der durchschnittliche spez. Stromverbrauch für den eigentlichen IT-Prozess liegt bei den untersuchten Objekten bei ca. 250 W/m^2 .

Dies entspricht in etwa 25% des durchschnittlichen Gesamtstrombedarfs der untersuchten IT-Räume.

Durch Unsicherheiten in der Planungsphase wurde dieser Wert mit durchschnittlich über 400 W/m² eingesetzt, was eine Überdimensionierung der HLK-Technik von ca. 40% (bei einer ablösungsprozessbedingten Belegung von maximal 85%) und somit oft einen ineffizienten Teillastbetrieb zur Folge hat.



Quelle: Data Center Energy Benchmarking, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (2002)

Der durchschnittliche Stromverbrauchsanteil der Klimatechnik in IT-Räumen liegt mit 35% oder ca. 350 W/m² deutlich über demjenigen Stromverbrauch für die installierten Computer und hängt im wesentlichen von der energetischen Effizienz der eingesetzten Systeme ab.

Einzelne IT-Räume weisen einen HLK-Stromverbrauchsanteil von über 50% auf während andere bei knapp über 20% liegen und somit mehr als doppelt Effizient kühlen.

2.3. Zielsetzung

Die Energieeffizienz und somit die Qualität der HLK-Systeme für bestehende und künftige IT-Räume soll durch einen möglichst tiefen Anteil des notwendigen Stromverbrauchs zur Klimatisierung (E_{eHLK}) in Relation zum Gesamtstromverbrauch ausgedrückt werden.

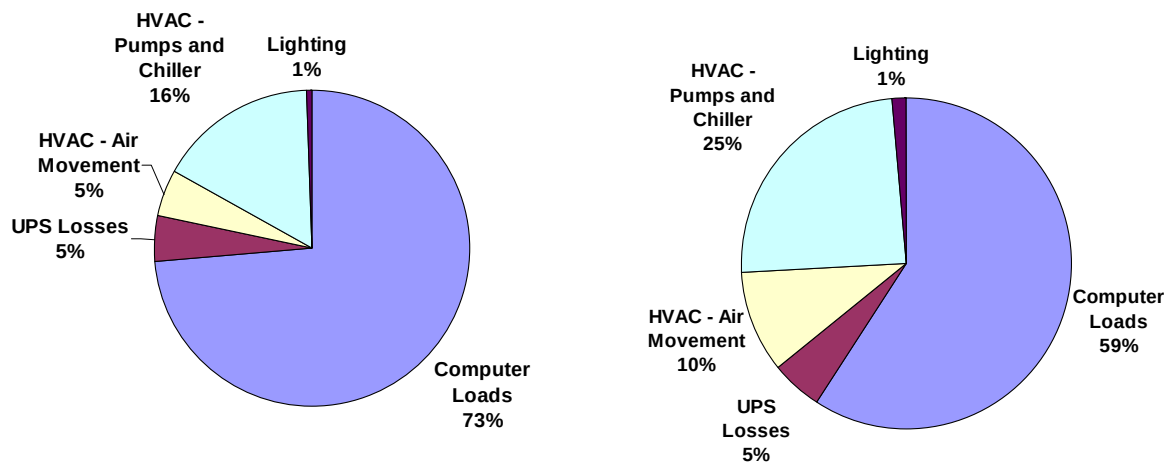
Zielwert Stromverbrauchsanteil HLK in bestehenden IT-Räumen:	$E_{\text{eHLK}} < 30\%$
Zielwert Stromverbrauchsanteil HLK in neuen IT-Räumen:	$E_{\text{eHLK}} < 20\%$

Die im Kapitel 2.2.3 erwähnte Studie des LBNL zeigt auch, dass obige Zielsetzung nicht nur aufgrund der Benchmarks sondern konkret durch gezielte Optimierung der HLK-Systeme in IT-Räumen erreicht werden kann.

Einer der ausgemessenen IT-Räume wurde zu diesem Zweck im Bezug auf den HLK-Stromverbrauch optimiert und anschliessend erneut ausgemessen.

Die nachstehende Graphik zeigt die Anteile der Stromverbräuche vor (rechts) und nach (links) der durchgeführten Optimierungsmassnahmen.

Der Anteil des Stromverbrauchs der HLK-Systeme (HVAC Pumps and Chiller, HVAC-Air Movement = Umwälzpumpen und Kälteerzeugung, Luftförderung Umluftkühlgeräte) konnte von 35% (25% + 10%) auf 21% (16% + 5%) oder um ca. 40% reduziert werden.



Quelle: Data Center Energy Benchmarking, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (2002)

3. Begleitprojekt Messe Basel

Um die Aussagen in vorliegender Studie nebst den Ergebnissen der Studien in den USA auch auf konkrete Beispiele in der Schweiz abzustützen, wurde ein Begleitprojekt definiert, dass im Rahmen der Untersuchungen energetisch optimiert werden sollte. Um die Ergebnisse nachvollziehen zu können wurde der IT-Raum vor und nach der Sanierung über eine längere Periode ausgemessen.

Die Stromverbrauchsmessungen im IST-Zustand wurden mit denjenigen im SOLL-Zustand verglichen und ausgewertet.

Das bestehende Rechenzentrum (IT-Raum) der Messe Basel wurde per Ende 2003 saniert.

Objekt: Rechenzentrum Messe Basel, Basel

Betreiber: Messe Basel AG

Systemraum: 80 m²



Situation Messe Basel mit Standort Rechenzentrum (gelb markiert)



IT-Raum Messe Basel nach der Sanierung

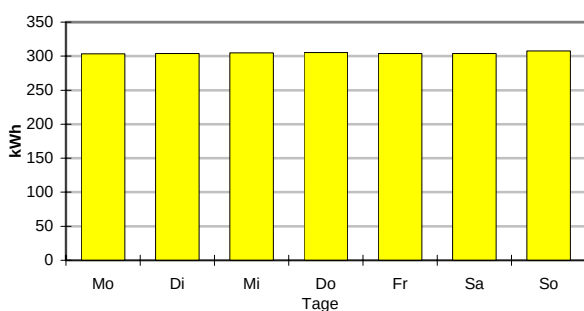
3.1. Messung vor der Sanierung (IST-Zustand)

Die Messungen IST-Zustand wurden im Zeitraum vom 22.9.-12.10.2003 durchgeführt.

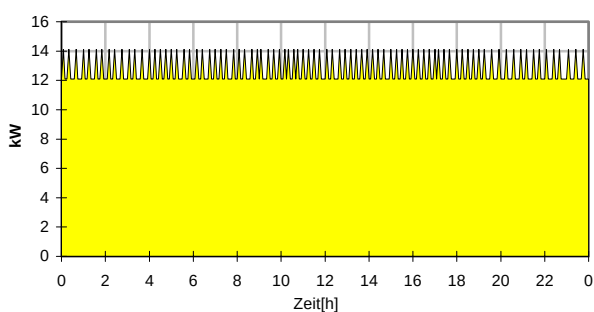
3.1.1. Stromverbrauch IT-Prozess (Computer)

Stromverbrauch IT-Prozess (Woche vom 29.9.-5.10.03)

Gesamte Woche 2'133 kWh



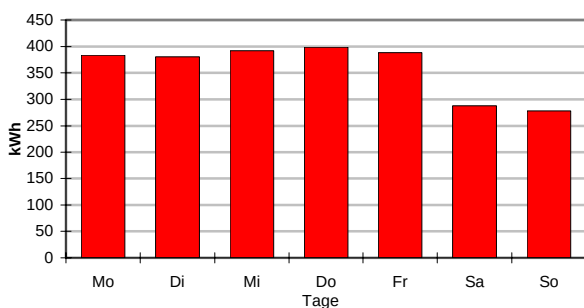
Mittwoch 305 kWh

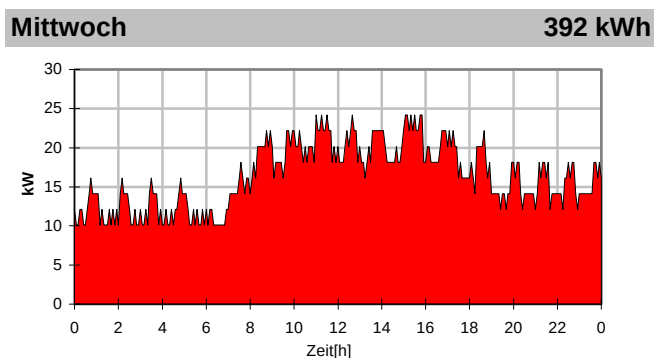


3.1.2. Stromverbrauch HLK-Prozess

Stromverbrauch HLK-Prozesse IT-Raum (Woche vom 29.9.-5.10.03):

Gesamte Woche 2'509 kWh





Die Messungen im IST-Zustand zeigen, dass der Anteil des Stromverbrauchs für die HLK-Systeme mit knapp 400 kWh/Tag sogar höher als derjenige für den eigentlichen IT-Prozess mit gut 300 kWh/Tag ist. Der IT-Verbrauch bzw. die entsprechende spezifische Wärmelast im Raum beträgt konstant ca. 160 W/m².

Während der IT-Prozess einen praktisch konstanten Leistungsbezug von knapp 13 kW aufweist, ist die Leistung für die HLK-Systeme sowohl über den Tag (10-23 kW) als auch über die Wochentage (280-400 kWh/Tag) stark schwankend.

Beide Leistungsschwankungen sind durch die Aussenluftzufuhr und die entsprechende Aufbereitung (Kühlung) bedingt, die aber nur zwischen 0700-1900 Uhr und nicht an den Wochenenden betrieben wird.

Allein diese Messung zeigt, dass mit einer minimal erforderlichen Aussenluftzufuhrregelung z.B. mittels Luftqualitätsfühler eine Stromverbrauchsreduktion von gut 500 kWh/Woche (Reduktion von knapp 400 auf ca. 300 kWh/Tag ohne permanente Aussenluftzufuhr) oder ca. 20% bei den HLK-Verbrauchern mit wenig Aufwand zu erzielen wäre.

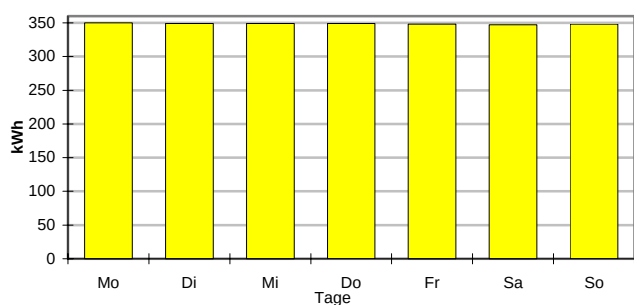
3.2. Messung nach der Sanierung (SOLL-Zustand)

Die Messungen SOLL-Zustand wurden im Zeitraum vom 8.3.-21.3.2004 durchgeführt.

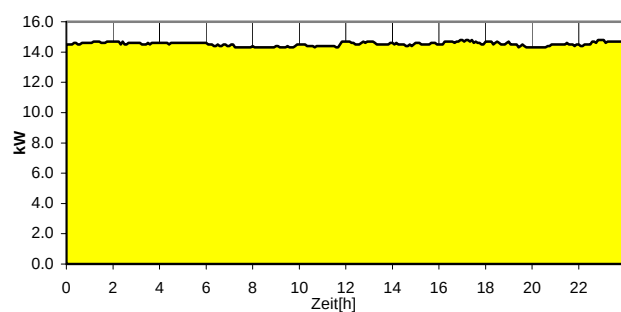
3.2.1. Stromverbrauch IT-Prozess (Computer)

Stromverbrauch IT-Prozess (Woche vom 15.3.-21.3.04):

Gesamte Woche **2440 kWh**



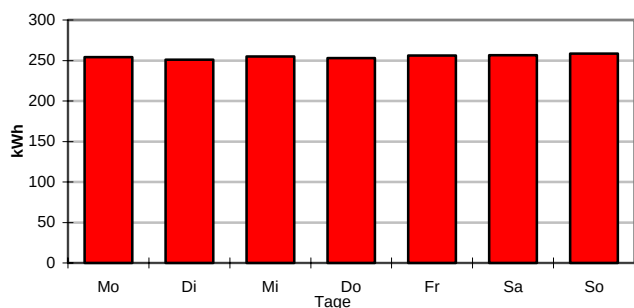
Mittwoch **349 kWh**

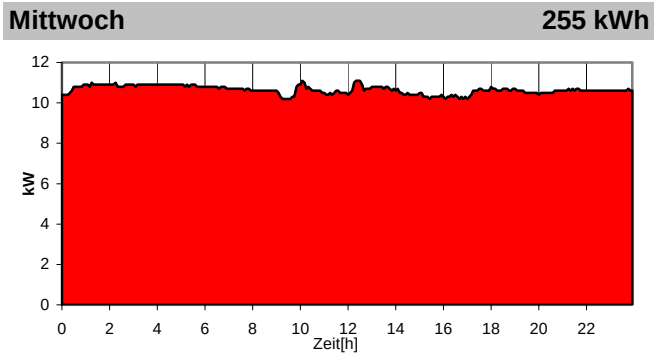


3.2.2. Stromverbrauch HLK-Prozess

Stromverbrauch HLK-Prozesse IT-Raum (vom 15.3.-21.3.04):

Gesamte Woche **1784 kWh**





Die Messungen im SOLL-Zustand zeigen, dass der Anteil des Stromverbrauchs für die HLK-Systeme mit knapp 255 kWh/Tag nach der Sanierung um ca. 36% tiefer liegen als vorher und gleichzeitig derjenige für den eigentlichen IT-Prozess mit knapp 350 kWh/Tag um ca. 15% höher ist als vorher.

Der IT-Verbrauch bzw. die entsprechende spezifische Wärmelast im Raum beträgt somit konstant ca. 180 W/m^2 .

Die Zunahme des Stromverbrauchs für die Server ist auf eine leichte Erhöhung der Rechnerleistung zurückzuführen.

Sowohl der IT-Prozess als auch die HLK-Verbraucher haben nach der Sanierung einen praktisch konstanten Leistungsbezug von ca. 14.5 kW bzw. 10.5 kW.

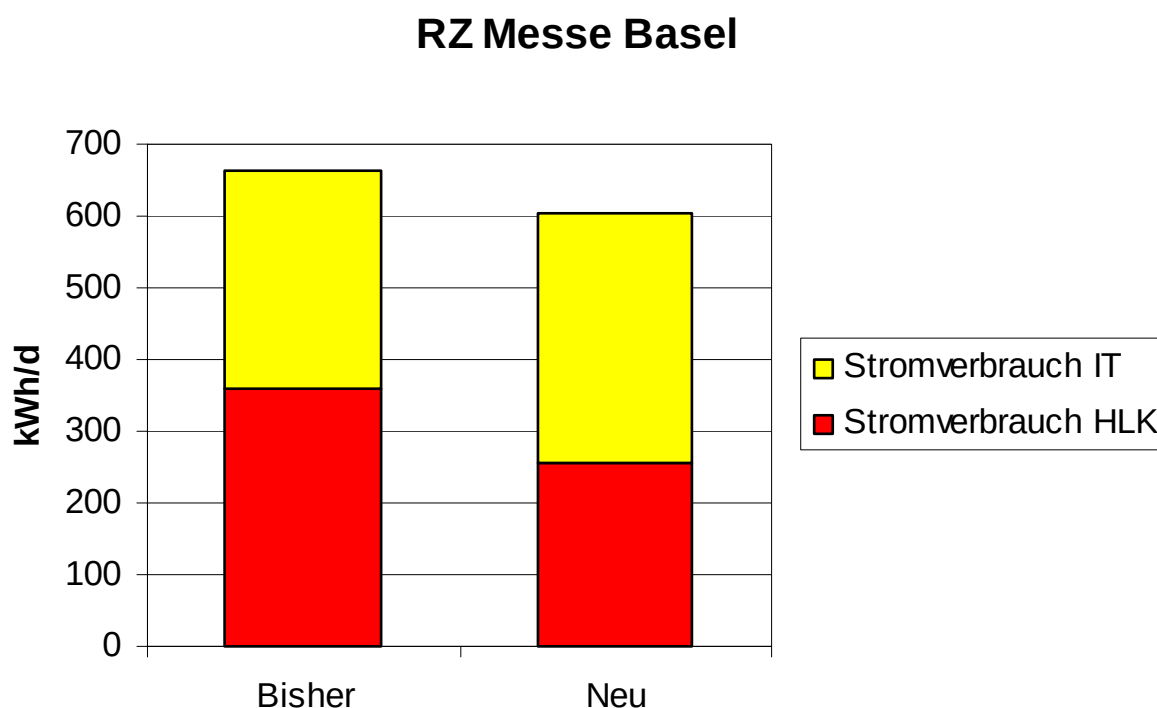
3.3. Effizienzsteigerung durch Sanierung

Mit der Erneuerung der HLK-Infrastruktur und den angepassten Kaltwassersystemtemperaturen (14/20°C statt 8/14°C) und Raumtemperaturen (26°C statt 22°C) hat sich der Stromverbrauch für die Kühlung erheblich reduziert.

Berücksichtigt man die mit der Erneuerung vorgenommene Leistungsverdichtung bei den Servern ergibt sich eine Stromverbrauchsreduktion innerhalb der HLK-Prozesse von ca. 40%.

Der Anteil des Stromverbrauch für die Kühlung (HLK) am Gesamtstromverbrauch wurde von 54% auf 42% reduziert. Der Vergleich wurde ohne Free-Cooling-Betrieb durchgeführt.

Dieser ist aufgrund der zentralen Kälteerzeugung in der Messe Basel welche nebst dem Rechenzentrum (RZ) auch noch andere, grössere Verbraucher versorgt objektbedingt nicht möglich.



Stromverbrauchsanteile IT- und HLK-Prozess Messe Basel vor und nach Sanierung

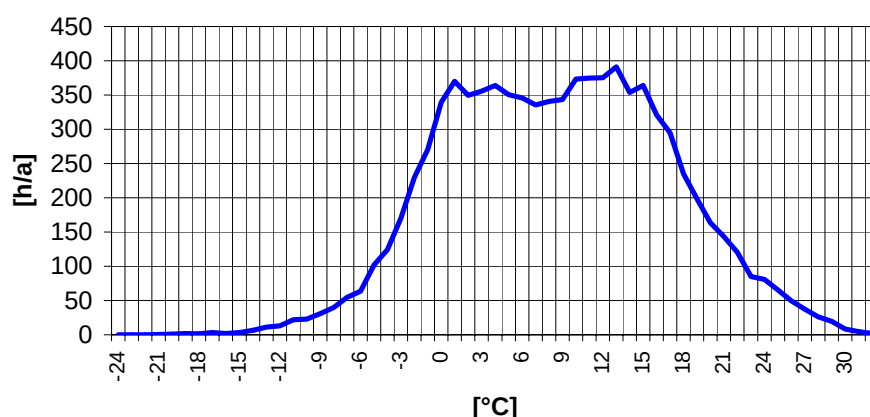
4. Empfehlungen für die Anlagenauslegung

4.1. Kälteerzeugung (Freecooling & Kaltwassertemperatur)

Die Wärmelasten in IT-Räumen sollen in unseren Breitengraden (durchschnittliche Aussentemperatur = 9°C) primär mittels freier Kühlung (Free Cooling), d.h. durch Ausnutzung der Aussenlufttemperatur oder einer anderen natürlichen Wärmesenke (z.B. Oberflächenwasser, Grundwasser etc.) abgeführt werden.

Wärmerückgewinnungen sind oftmals nicht realisierbar da keine genügende Wärmeabnahme im selben Gebäude, oder in vernünftiger Nähe besteht. Sollte eine entsprechende Möglichkeit vorhanden sein, ist ein Kältemaschinenbetrieb mit WRG während der Zeit der Wärmeabnahme anzustreben. Dabei ist der erhöhte Stromverbrauch der Kältemaschine im WRG-Betrieb mit der eingesparten Wärmeenergie zu vergleichen und zu bewerten. Eine doppelte Gewichtung der Elektrizität gegenüber der Wärme ist dabei sinnvoll (Minergieansatz).

**Summenhäufigkeit Aussentemperatur
(Zürich-Kloten)**



Zur optimalen Auslegung der Kälteerzeugung sollte in jedem Fall beachtet werden, dass die Systemtemperaturen höher als "normale" Kaltwassernetze ausgelegt werden (keine Entfeuchtung notwendig), das heisst nicht unter 10/16 °C bis max. 14/20 °C.

Dies um eine möglichst gute Freecoolingleistung zu erreichen, und zwar im reinen Freecoolingbetrieb sowie im Mixbetrieb.

Ein Kaltwasserspeicher sollte, wenn überhaupt nur als technischer Speicher und mit gleichzeitig guter Schichtung eingesetzt werden.

Grundsätzlich kann aber aufgrund der praktisch konstanten Verbrauchscharakteristik (konstante Last) darauf verzichtet und eine entsprechende Leistungsregelung auf der Kältemaschine vorgesehen werden.

Im nachstehenden Variantenvergleich wurde ein IT-Raum mit folgenden Annahmen zugrunde gelegt:

Fläche IT-Raum:	1000	m ²
Wärmelasten Computer:	400	W/m ²
Stromverbrauch Computer:	3'500	MWh/a
Stromverbrauchskosten Computer:	525'000	Fr./a (bei 15 Rp./kWh)

Die drei dargestellten Varianten unterscheiden sich wie folgt:

Variante 1: Kaltwassertemperatur 6/12°C, COP¹⁾ = 3.0

Variante 2: Kaltwassertemperatur 10/16°C, COP = 3.5

Variante 3: Kaltwassertemperatur 14/20°C, COP = 4.0

¹⁾ COP = Coefficient of Power (Leistungsverhältnis Stromaufnahme zu Verdampferleistung)

Für jede Variante wurden zusätzlich folgende Betriebsarten bezüglich Freecooling unterschieden:

Variante A: Serieller Betrieb (Freecooling solange Free-Cooling-Leistung > Kältebedarf) ²⁾

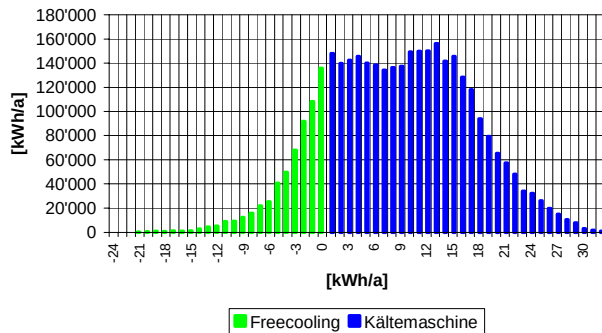
Variante B: Mixbetrieb (Freecooling solange Kaltwasserrücklauftemperatur > Aussenlufttemperatur)

²⁾ Die volle Free-Cooling-Leistung bedingt eine Aussenlufttemperatur, welche um 5 Kelvin unter der Kaltwasservorlauftemperatur liegt.

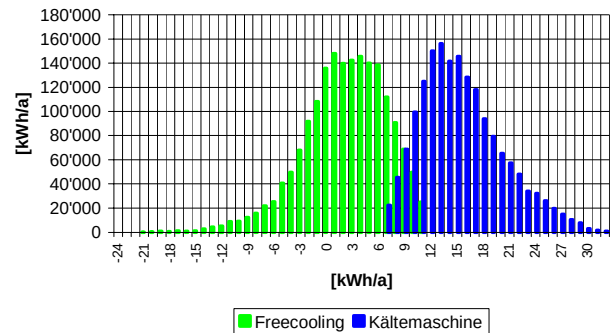
Die durchgeführten Berechnungen und die nachstehenden Graphiken zeigen, dass der Stromverbrauchsanteil für die Kälteerzeugung je nach Kaltwassersystemtemperaturen und Free-Cooling-Einbindung erheblich variieren.

Ein reiner Kältemaschinenbetrieb ohne Free-Cooling und einer Kaltwassertemperatur von 6/12°C ergibt einen Stromverbrauchsanteil von ca. 33% während im Idealfall mit einer maximalen Nutzung des Free-Coolings und einer Kaltwassertemperatur von 14/20°C dieser Anteil auf unter 5% zu liegen kommt.

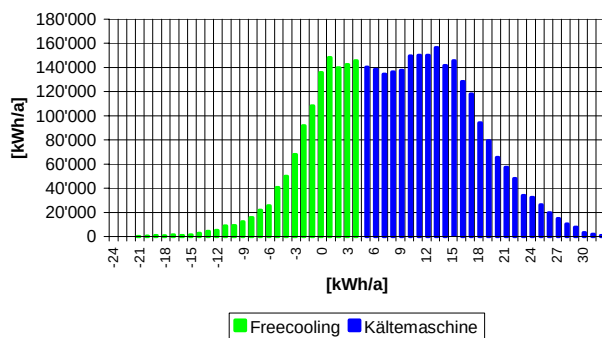
Variante 1A

Kälteenergie Seriellbetrieb
(Kaltwassertemperatur 6/12°C)

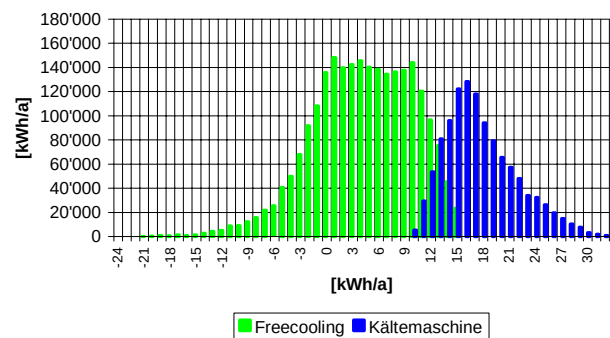
Variante 1B

Kälteenergie Mixbetrieb
(Kaltwassertemperatur 6/12°C)

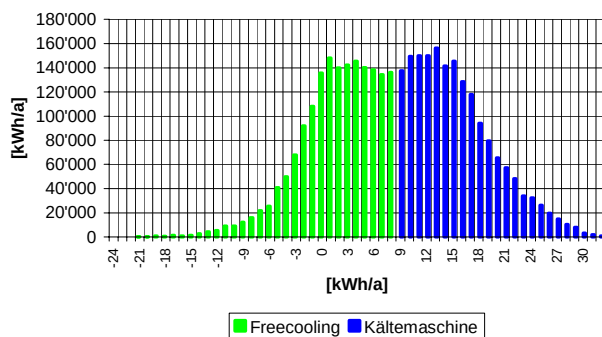
Variante 2A

Kälteenergie Seriellbetrieb
(Kaltwassertemperatur 10/16°C)

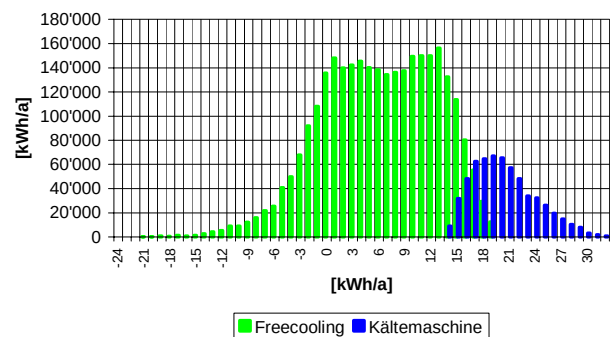
Variante 2B

Kälteenergie Mixbetrieb
(Kaltwassertemperatur 10/16°C)

Variante 3A

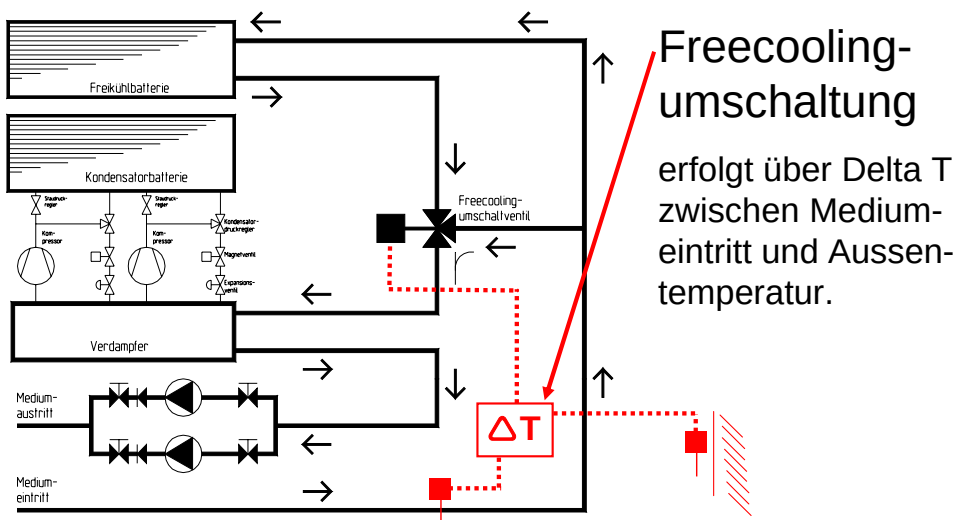
Kälteenergie Seriellbetrieb
(Kaltwassertemperatur 14/20°C)

Variante 3B

Kälteenergie Mixbetrieb
(Kaltwassertemperatur 14/20°C)

Moderne Kaltwassersätze verfügen über luftgekühlte Kondensatoren, welche einen "schleifenden" Free-Cooling-Betrieb (Mixbetrieb) erlauben. D.h. sobald die Rücklauftemperatur unter der Aussentemperatur zu liegen kommt wird der Free-Cooling-Betrieb aufgenommen und die Kältemaschine nur noch solange betrieben, als die Aussentemperatur keinen vollständigen Free-Cooling-Betrieb zulässt (Varianten B im obigen Vergleich).

Nachstehendes Prinzipschema zeigt die entsprechende hydraulische Einbindung eines solchen Kaltwassersatzes.

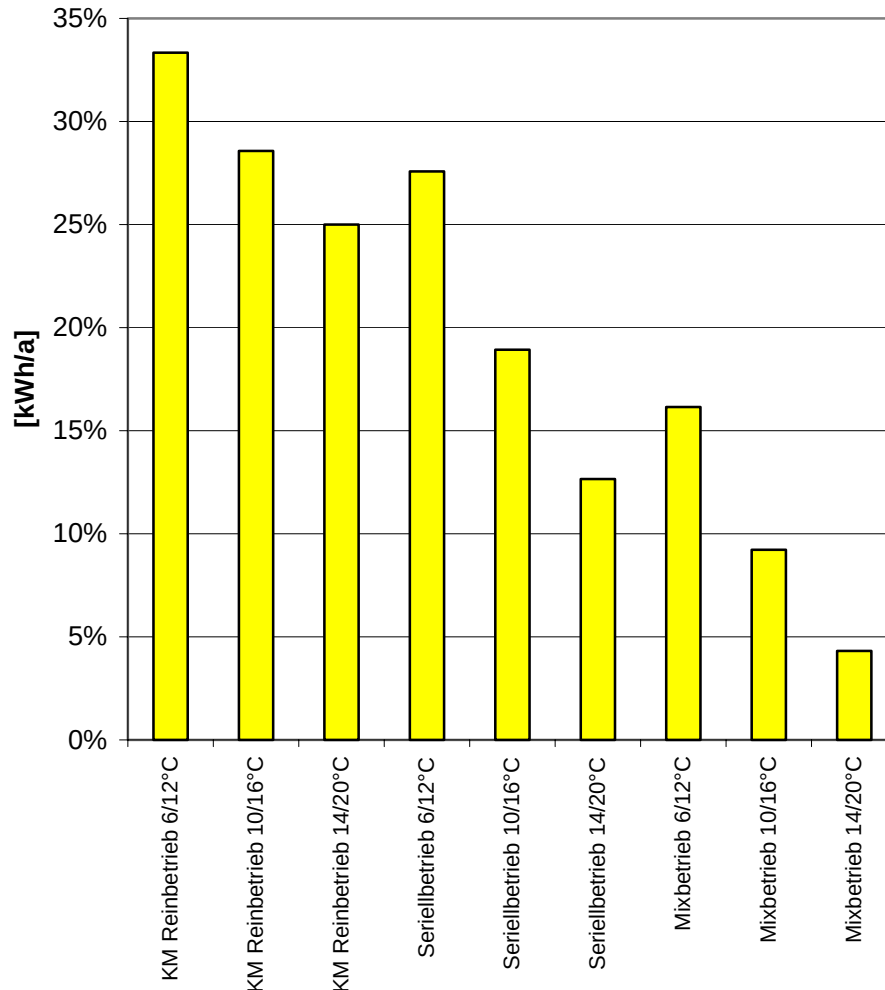


Quelle: Wolf (Schweiz) AG, 2003

Damit und mit einer möglichst hohen Kaltwassertemperatur kann gegenüber einem reinen Kältemaschinenbetrieb der Stromverbrauch für die Kälteerzeugung um bis zu 85% und gegenüber einem seriellen Betrieb (Free-Cooling erst, wenn 100% Kälteleistung abdeckbar ist) um bis zu 80% reduziert werden.

Die nachstehende Graphik zeigt die Anteile des Stromverbrauchs für die Kälteerzeugung am Gesamtstromverbrauch in Abhängigkeit des Kaltwassertemperaturregimes und der Free-Cooling-Einbindung.

Stromverbrauchsanteil Kälteerzeugung (in Abhängigkeit der Freecoolingstrategie und Kaltwassertemperatur)



Stromverbrauchsanteile Kälteerzeugung in Abhängigkeit der Betriebsart und Kaltwassertemperaturen

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ein Kennwert für den Stromverbrauchsanteil der Kälteerzeugung im Sinne eines Teilzielwertes wie folgt festlegen:

Teilzielwerte Stromverbrauchsanteil Kälteerzeugung $E_{\text{eKälte}}$:

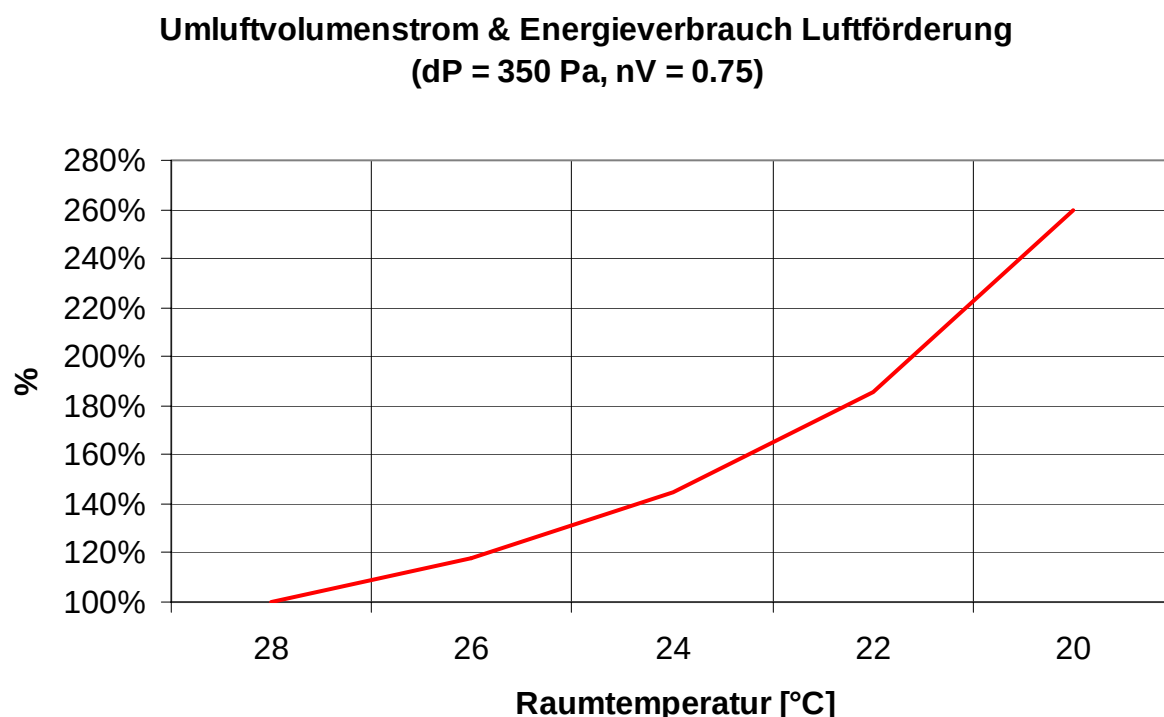
Teilzielwert bestehende IT-Räume:	$E_{\text{eKälte}} < 20\%$
Teilzielwert neue IT-Räume:	$E_{\text{eKälte}} < 15\%$

4.2. Kälteabgabe (Raumtemperatur & Luftförderung)

Die Raumtemperatur innerhalb von IT-Räumen hat im Bezug auf eine effiziente Kälteabgabe an den Raum einen entscheidenden Einfluss, ist aber gleichzeitig ein entscheidender Parameter für die Verfügbarkeit und Lebensdauer der IT-Geräte.

Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Raum und Zuluft wird, desto grösser wird die zur Kühlung erforderliche Luftmenge und damit der Energieverbrauch zur Luftförderung.

Bei gegebener Zulufttemperatur von 15°C ergeben sich bei einem Geräteseitigen Druckverlust von 350 Pa und einem Gesamtwirkungsgrad (Ventilator & Motor) von 75% in Abhängigkeit der Raumtemperatur folgende Luftvolumenströme und Energieverbräuche (bei gleicher Anströmgeschwindigkeit):

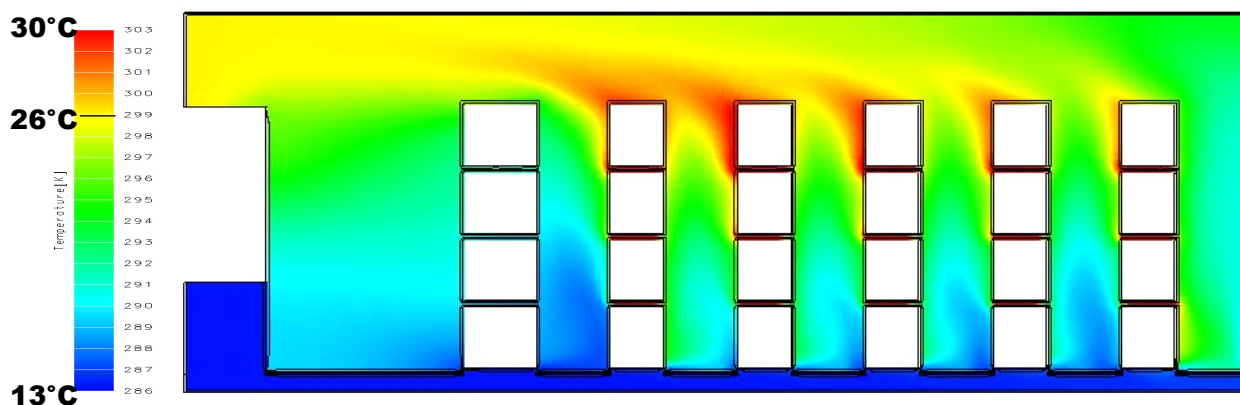


Luftmenge und Stromverbrauch in Abhängigkeit der Raumtemperatur (bei konst. Druckdifferenz)

Die Graphik zeigt, dass bei einer Raumtemperatur von 20°C gegenüber 26°C ein über doppelt so grosser Luftvolumenstrom bzw. Energieverbrauch für dessen Förderung im IT-Raum anfällt. Dies schlägt sich sowohl in höheren Investitionskosten als auch in höheren Energieverbrauchskosten nieder.

Aufgrund der nicht homogenen Raumlufttemperaturverteilung innerhalb von IT-Räumen und auch aus Komfortgründen für die partiell vorhandenen Arbeitsplätze ist eine Soll-Raumlufttemperatur von 26°C (gemessen am Eintritt der Umluft in den Umluftkühler) sinnvoll.

Die Raumlufttemperaturverteilung variiert zwischen der Zulufttemperatur nach dem Umluftkühlgerät (z.B. 13°C) und den wärmsten Punkten (Hot Spots) an den Racks (z.B. 30°C). Dies ergibt sich in jedem IT-Raum aufgrund der endlichen Luftmenge und der punktuellen Wärmeabgabe.



Quelle: Amstein+Walthert AG, CFD-Simulation IT-Raum Schweizer Grossbank, Zürich (2002)

Moderne Umluftkühlgeräte verfügen über EC-Motoren und direkt angetriebene freilaufende Ventilatoren mit rückwärts gekrümmten Schaufeln. Diese haben bis zu 30% weniger Energieverbrauch als Ventilatoren mit Riemenantrieb und vorwärts gekrümmten Schaufeln, welche bis vor kurzem zum Einsatz gekommen sind.

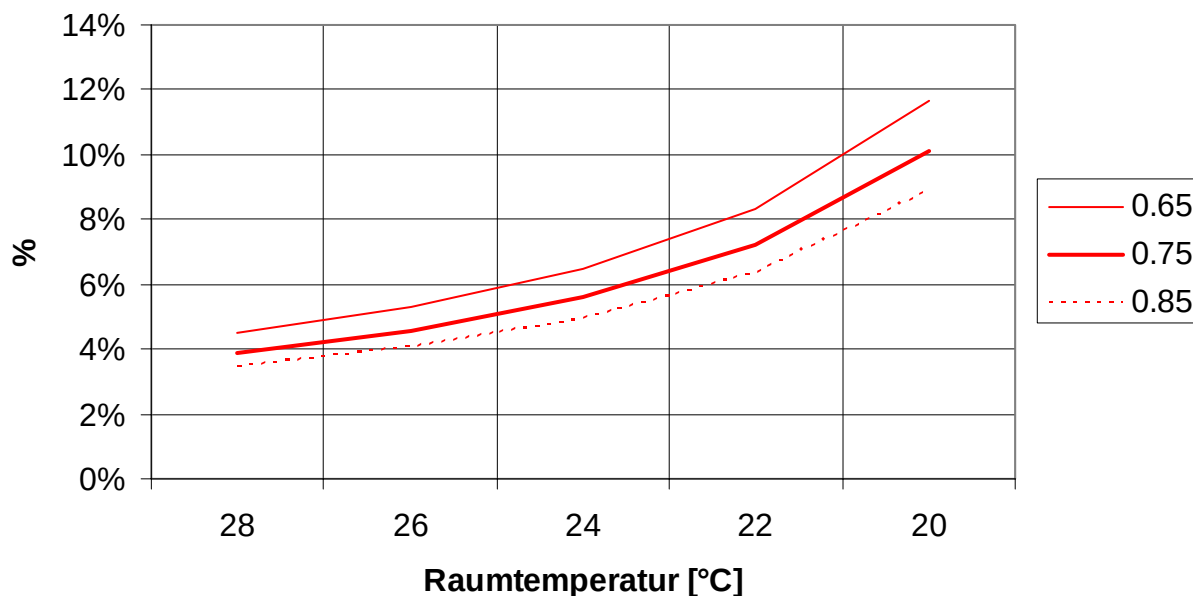
Zur Anpassung an die objektspezifischen Luftmengen- und Druckverhältnisse stehen stufenlose Drehzahlveränderungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Gemäss SIA 382/1 (Vernehmlassung 2004) sind für die Gesamtwirkungsgrade der Ventilatoren bei energetisch guten Lösungen nachstehende Werte einzuhalten:

Nennluftstrom (m ³ /h)	Gesamtwirkungsgrad (%)
1'000	55
2'500	64
5'000	70
10'000	77
15'000	82
20'000	85

Nachstehende Graphik zeigt den Stromverbrauch zur Luftförderung für verschiedene Gesamtwirkungsgrade und in Abhängigkeit der Raumtemperatur.

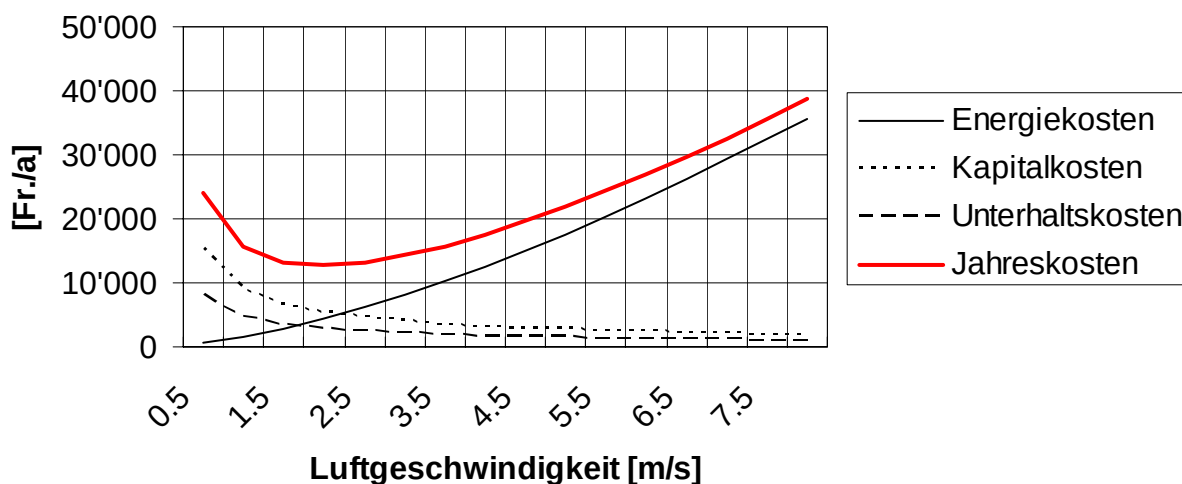
Anteil Stromverbrauch für Luftförderung (in Abhängigkeit Ventilatorwirkungsgrad)



Die Aerodynamik innerhalb der ULK wird weiterhin optimiert werden. Hier hat die Computersimulation von Luftströmen bei einigen Anbietern Einzug gehalten. Hierzu gehören vor allem Wärmetauscher mit ausreichend grossen Anströmflächen damit die Geschwindigkeit von maximal 2.0 m/s nicht überschritten wird (Energiegesetz Kt. Zürich).

Nachstehende Graphik zeigt, dass eine tiefe Anströmgeschwindigkeit nicht nur den Energieverbrauch von Umluftkühlgeräten massgeblich beeinflusst, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll macht.

Optimierung Umluftkühlgerät (20'000 m³/h)



Quelle: Amstein+Walthert AG, „Optimierung der Luftgeschwindigkeiten“ für ein Rechenzentrum (2002)

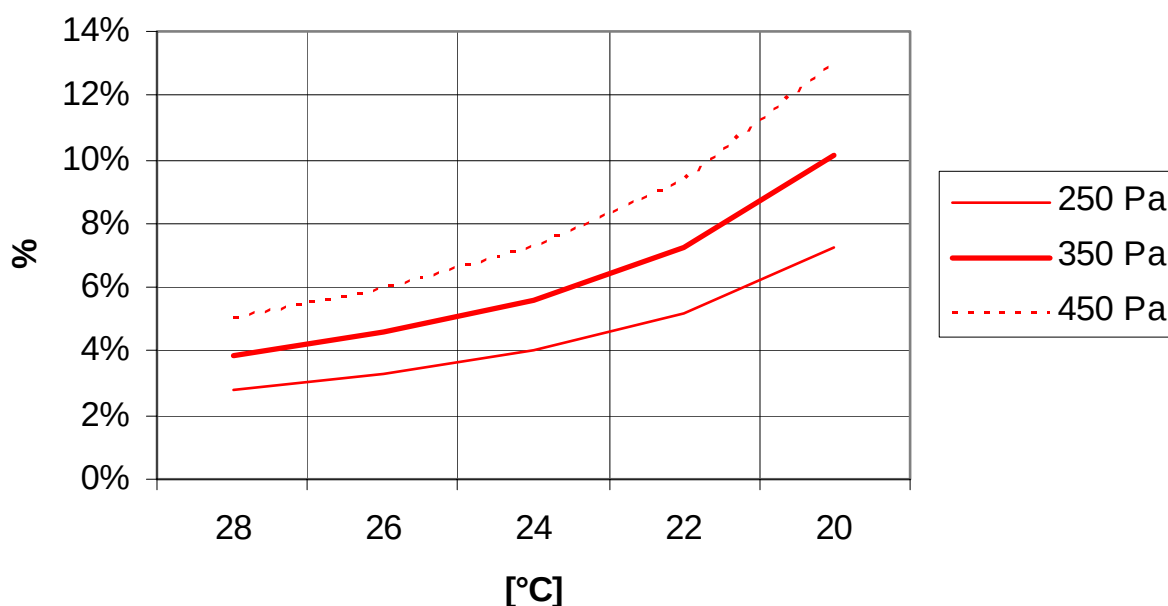
In der Praxis kann immer wieder beobachtet werden, dass zu "gute" Filter eingesetzt und somit unnötig hohe Druckverluste generiert werden.

Dies hat die Ursache wahrscheinlich immer noch bei den vor über dreissig Jahren eingesetzten offenen Laufwerken mit Wechselplatten. Diese sind jedoch schon lange "ausgestorben".

Effiziente Laufwerke sind seit vielen Jahren komplett verschlossen und hermetisiert. Neben den höheren Ersatzkosten bei der Wartung haben diese Filter einen höheren Druckverlust und verursachen somit einen höheren Kraftbedarf der Ventilatoren. Als absolut ausreichend hat sich die Klasse EU4 bis EU5 (70-80 Pa) erwiesen. Der Filterwechsel soll auf das System gemeldet werden (Parameter = ca. 800h Betriebsstunden oder FM 2x pro Jahr).

Für die Aussenluftanlagen sind die gemäss SIA 382/1 vorgegebenen Filter einzusetzen.

Anteil Stromverbrauch für Luftförderung (in Abhängigkeit des Druckverlusts)

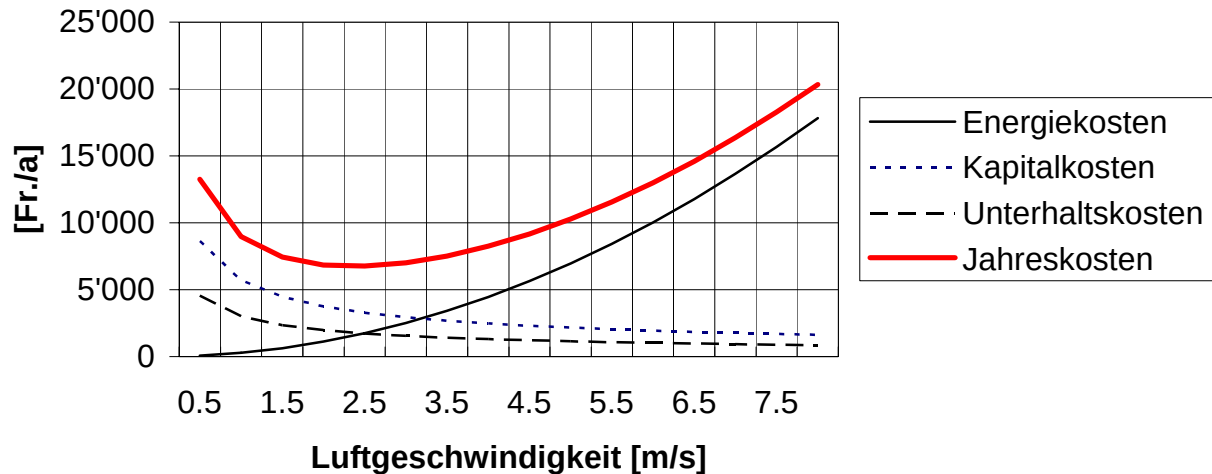


Die Luftverteilung innerhalb des IT-Raumes sollte strömungstechnisch so ausgebildet sein, dass sich die Zuluft gleichmässig über die Bodenfläche verteilt um alle vorhandenen Wärmequellen flächendeckend zu versorgen.

Um dies zu erreichen, ist zwischen Umluftkühlgerät und Wärmequelle, d.h. im Doppelboden ein minimaler dynamischer Druck bzw. ein relativ hoher statischer Druck zu generieren.

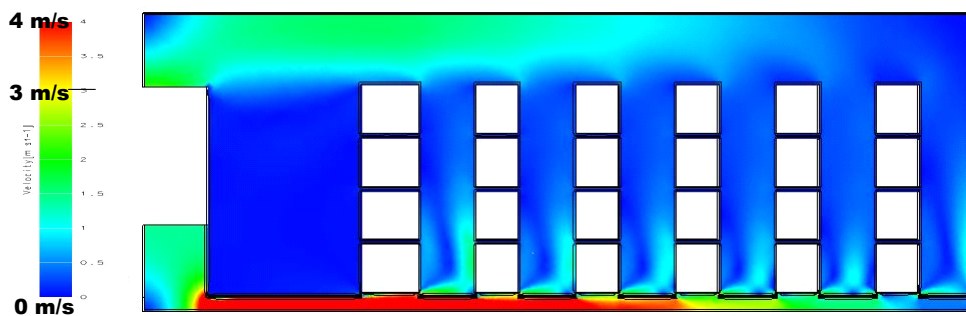
Dies kann nur mittels möglichst geringer Luftgeschwindigkeit im Doppelboden (< 3 m/s) bzw. klar definierten Zuluftauslässen erreicht werden.

Jahreskosten Umluftkanalnetz (20'000 m³/h)



Quelle: : Amstein+Walthert AG, „Optimierung der Luftgeschwindigkeiten im Hohlboden“ für ein Rechenzentrum (2002)

Der Grundriss des Raumes sollte so gewählt werden, dass die Luftversorgung ab Umluftkühlgerät bis zu einer maximalen Raumtiefe von ca. 10-15 m erfolgen kann. Dies bedingt idealerweise einen freien Querschnitt mit einer Doppelbodenhöhe im Licht von ca. 40-50 cm.



Quelle: Amstein+Walthert AG, CFD-Simulation IT-Raum Schweizer Grossbank, Zürich (2002)

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ein Kennwert für den Stromverbrauchsanteil der Luftförderung im Sinne eines Teilzielwertes wie folgt festlegen:

Teilzielwerte Stromverbrauchsanteil Luftförderung E_{eLuft} :

Teilzielwert bestehende IT-Räume:	$E_{eLuft} < 8\%$
Teilzielwert neue IT-Räume:	$E_{eLuft} < 4\%$

4.3. Regelung (Einbezug Standby-Potential)

Die Mikroprozessorregelung hat in den letzten Jahren einige Fortschritte im Umgang mit Energie gebracht.

Dabei ist besonders die Möglichkeit der Vernetzung mehrerer Anlagenkomponenten zu erwähnen, damit widersprüchliches Regelverhalten vermieden werden kann.

Aufgrund der Versorgungssicherheit sollen die HLK-Anlagen für IT-Räume mit der entsprechenden Redundanz (n+1) d.h. mit jeweils einer Standby-Einheit innerhalb der Versorgungskette ausgerüstet werden.

Energetisch interessant ist dabei die operative Einbindung dieser Standby-Einheiten im Normalbetrieb.

Somit sind im Normalbetrieb alle Kältemaschinen, Rückkühler und Umluftkühlgeräte in Betrieb, was bei gleichen Temperaturregimes je nach Konfiguration eine erhebliche Erhöhung der Wärmehaushaltskapazität zulässt.

Beispiel:

Fläche IT-Raum:	1000	m ²
Wärmelasten Computer:	400	W/m ²
Kälteleistungsbedarf:	400	kW
Betrieb Kältemaschinen	2	(je 200 kW)
Betrieb Rückkühler	2	(je 250 kW)
Betrieb Umluftkühlgeräte	8	(je 50 kW)

Die Kapazität der Kälteerzeugung und Rückkühlung kann bei Einbezug der Standby-Einheiten um je 50% und diejenige der Umluftkühlgeräte um 12.5% erhöht werden.

Das Leitsystem soll im Normalfall alle Komponenten in Betrieb halten und nur im Störfall (Ausfall einer Betriebseinheit) die Systemtemperaturen entsprechend senken bzw. die Luftmengen erhöhen.

Weitere Einsparmöglichkeiten sollten durch die Weiterentwicklungen der Regelungen erfolgen können.

Zum Beispiel wird der drehzahlregelbare EC-Ventilator die Möglichkeit geben die Luftmenge, in vorgegebener Bandbreite, zu reduzieren wenn sich der Istwert dem Sollwert nähert.

Die Vernetzung der Geräte wird sich zudem in naher Zukunft z.B. direkt über das LAN des Kunden bewerkstelligen lassen.

Die Einbindung soll aber aus sicherheitstechnischen Gründen nicht über das EDV-seitige Netz sondern vom IT-Prozess unabhängiges Netz erfolgen.

Das spart einerseits Verkabelungsaufwand und die Uebergabe der Daten für die Ueberwachung und Fernüberwachung wird zur reinen Softwareangelegenheit. Jedes Gerät hat eine TCP/IP Adresse und wird somit zu einem Netzwerkteilnehmer wie ein PC oder Drucker.

5. Controlling / Messkonzept

Damit die energetische Effizienz der Klimatisierung eines IT-Raumes beurteilt bzw. optimiert werden kann braucht es neben der richtigen Planung auch ein entsprechendes Controllinginstrument.

Das Vorgehen ist im nachfolgenden Kapitel "Planungsanleitungen" für die Phase Betrieb zusätzlich beschrieben.

Das Controlling kann am einfachsten erfolgen, wenn die Anlage mit entsprechenden permanenten Messstellen ausgerüstet sind und die erfassten Daten auf dem Leitsystem aufgezeichnet und abgerufen werden können.

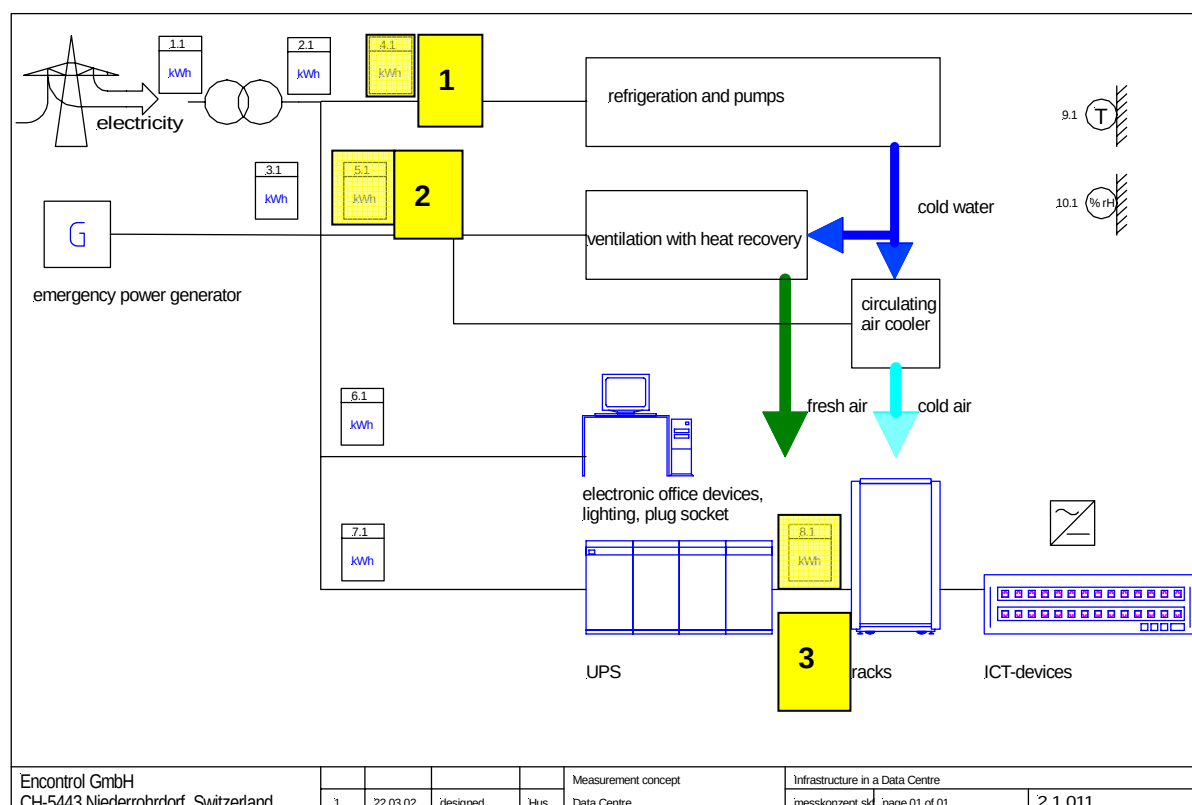
Die Aufzeichnung soll mit graphischen Trendverläufen (siehe Messung Begleitprojekt Messe Basel) erfolgen und nicht nur Energieverbrauchsdaten in Zahlenformat liefern. Damit sind Optimierungspotenziale besser ablesbar und erlauben gezielte Massnahmen.

Das nachstehende Schema zeigt ein Messkonzept mit den minimal erforderlichen Messstellen.

Stromverbrauchsmessung Kälteerzeugung (KM, RK, Pumpen)

Stromverbrauchsmessung Luftförderung (ULKG, AUL)

Stromverbrauchsmessung IT-Prozess (Computer)



Quelle: CEPE "Energy- and Eco-Efficiency of Data Centres", Genève (2002)

Nebst diesen minimal Erforderlichen Messstellen können selbstverständlich auch noch weitere interessante Messgrössen erfasst und ausgewertet werden.

Zusätzliche Messstellen, welche eine vertiefte Analyse im Betrieb zulassen können folgende sein:

- Kälteenergie Kältemaschinen
- Kälteenergie Verbrauch
- Systemtemperaturen Kaltwasser
- Raumtemperatur IT-Raum
- Zulufttemperatur IT-Raum
- Aussenlufttemperatur
- Differenzdruck Umluftkühlgeräte
- Kunstlicht

Zu beachten ist dabei aber, dass die Erfassung zusätzlicher Messstellen auch weitere Investitionskosten in Form von Hard- und Software und die Auswertung Betriebskosten in Form von Personalaufwand generieren.

6. Planungsanleitung

Die in diesem Kapitel dargestellten Flussdiagramme sollen dem HLK-Planer und dem IT-Betreiber im Sinne einer Checkliste und auf einfache Weise helfen, mittels frühzeitiger Berücksichtigung der relevanten Parameter die HLK-Systeme zu planen, welche einen energetisch effizienten Betrieb von IT-Räumen erlauben.

Die folgenden Phasen wurden entsprechend abgebildet:

- **Phase "Bedarfsdaten und Systemstrategie"**
- **Phase "Projektierung"**
- **Phase "Ausführung"**
- **Phase "Betrieb"**

Jede Phase ist ein in sich abgeschlossener Prozess mit einer Ausgangslage und einem Abschluss. Der Abschluss der vorgelagerten Phase bildet jeweils die Ausgangslage der nachfolgenden Phase und kann somit nicht unabhängig betrachtet werden.

Für einen energetisch effizienten Betrieb bestehender IT-Räume kann für eine erste Analyse direkt die Phase "Betrieb" als Basis verwendet werden.

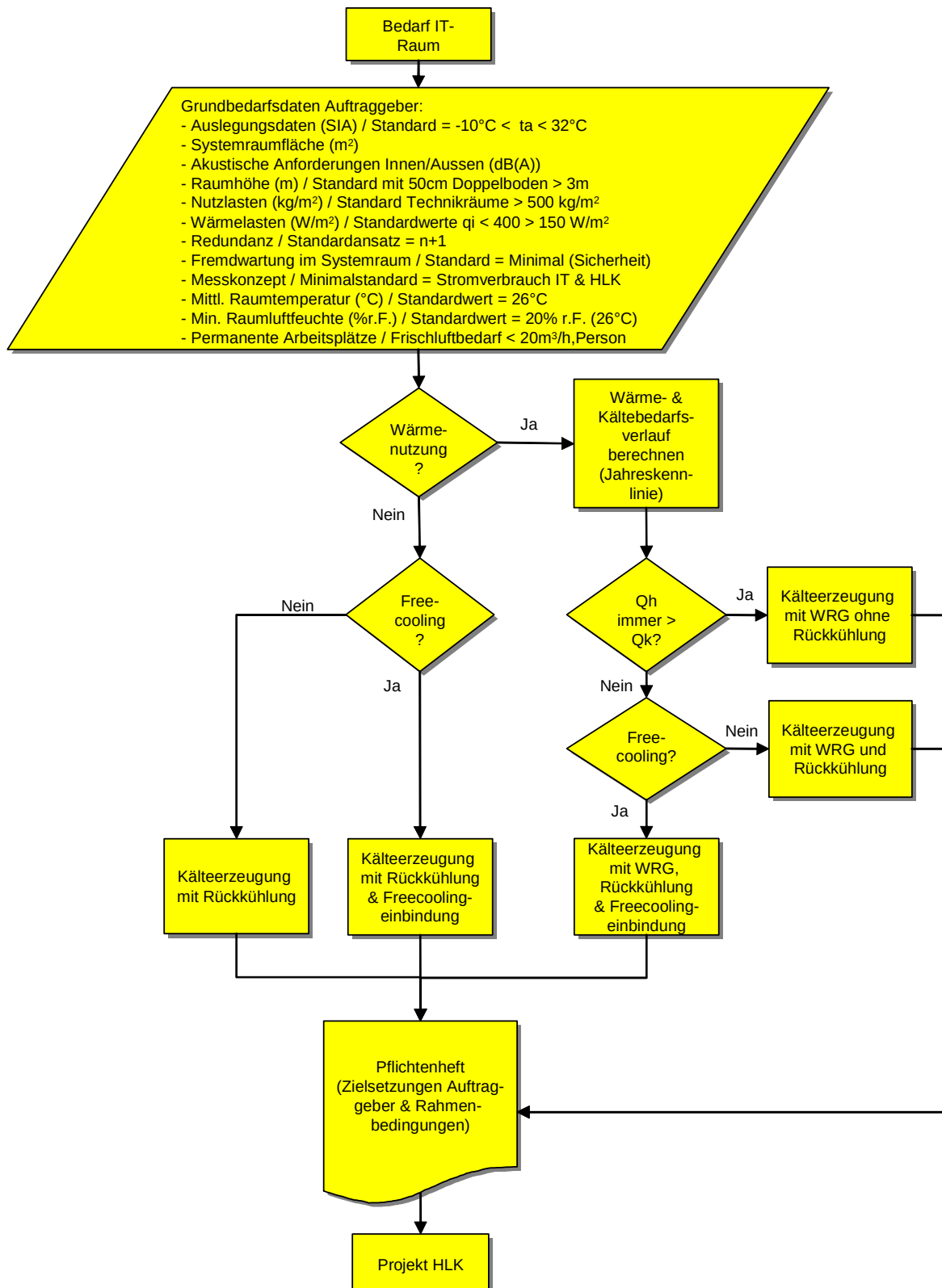
Je nach Resultat kann die Effizienzsteigerung mittels einfacher Massnahmen (z.B. Mängelbehebung) oder mit einer Gesamtsanierung erreicht werden.

Im letzteren Fall soll die Planungsanleitung wie für einen Neubau über alle Phasen durchlaufen werden.

6.1. Phase "Bedarfsdaten und Systemstrategie"

Die Bedarfsdaten des Auftraggebers und die daraus abgeleiteten Systemstrategien für die HLK-Anlagen sind für die nachfolgende Phase der Projektierung mit dem Auftraggeber zu verifizieren und in einem Pflichtenheft (Zielsetzungen Auftraggeber und Rahmenbedingungen) festzuhalten.

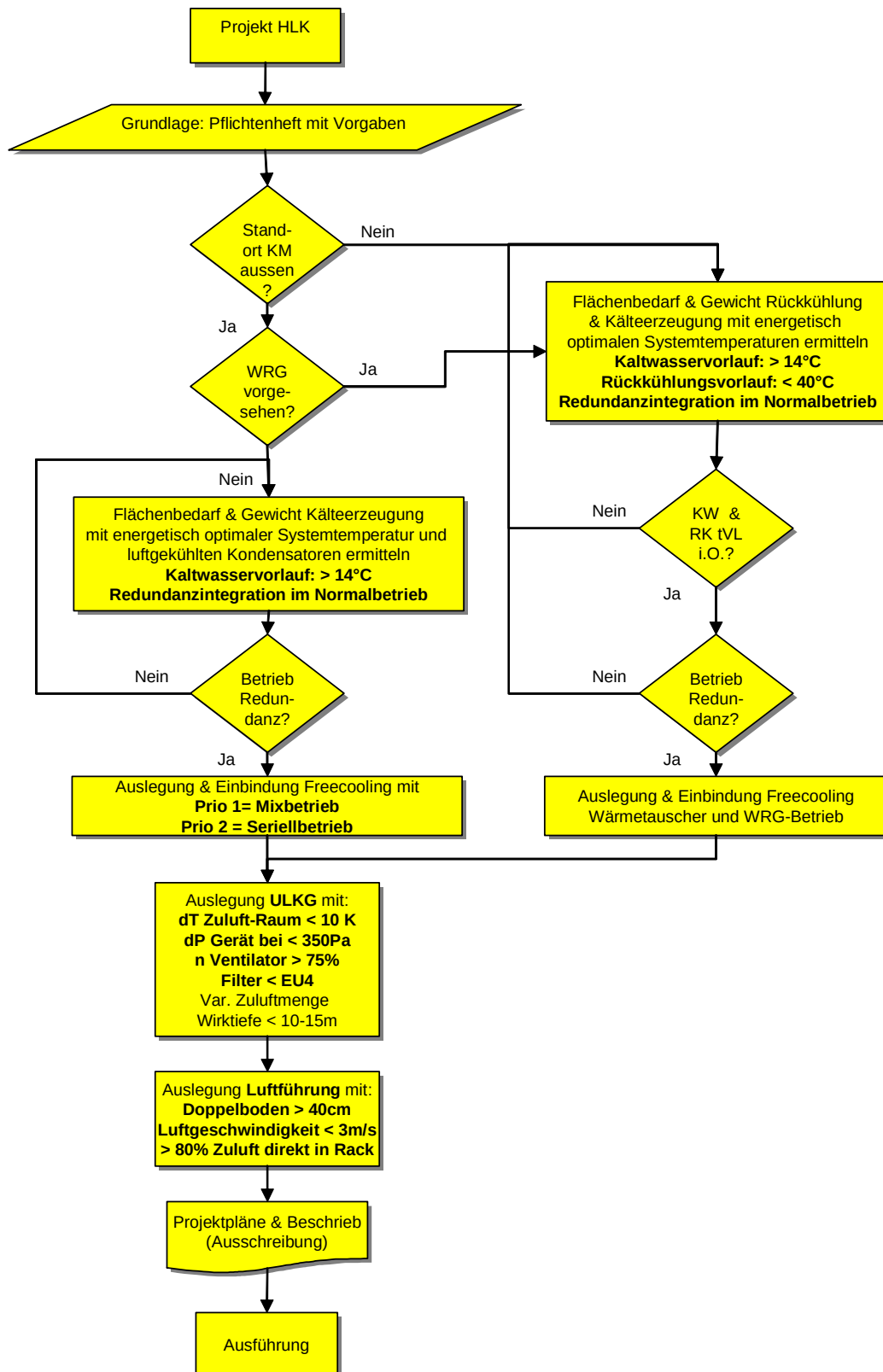
Die wesentlichen Aspekte sind in nachstehenden Flussdiagramm dargestellt:



6.2. Phase "Projektierung"

Die im Pflichtenheft festgehaltenen Bedarfsdaten und die Systemstrategien für die HLK-Anlagen sind in der Phase der Projektierung umzusetzen und in einem Beschrieb (Konzept / Ausschreibung) festzuhalten.

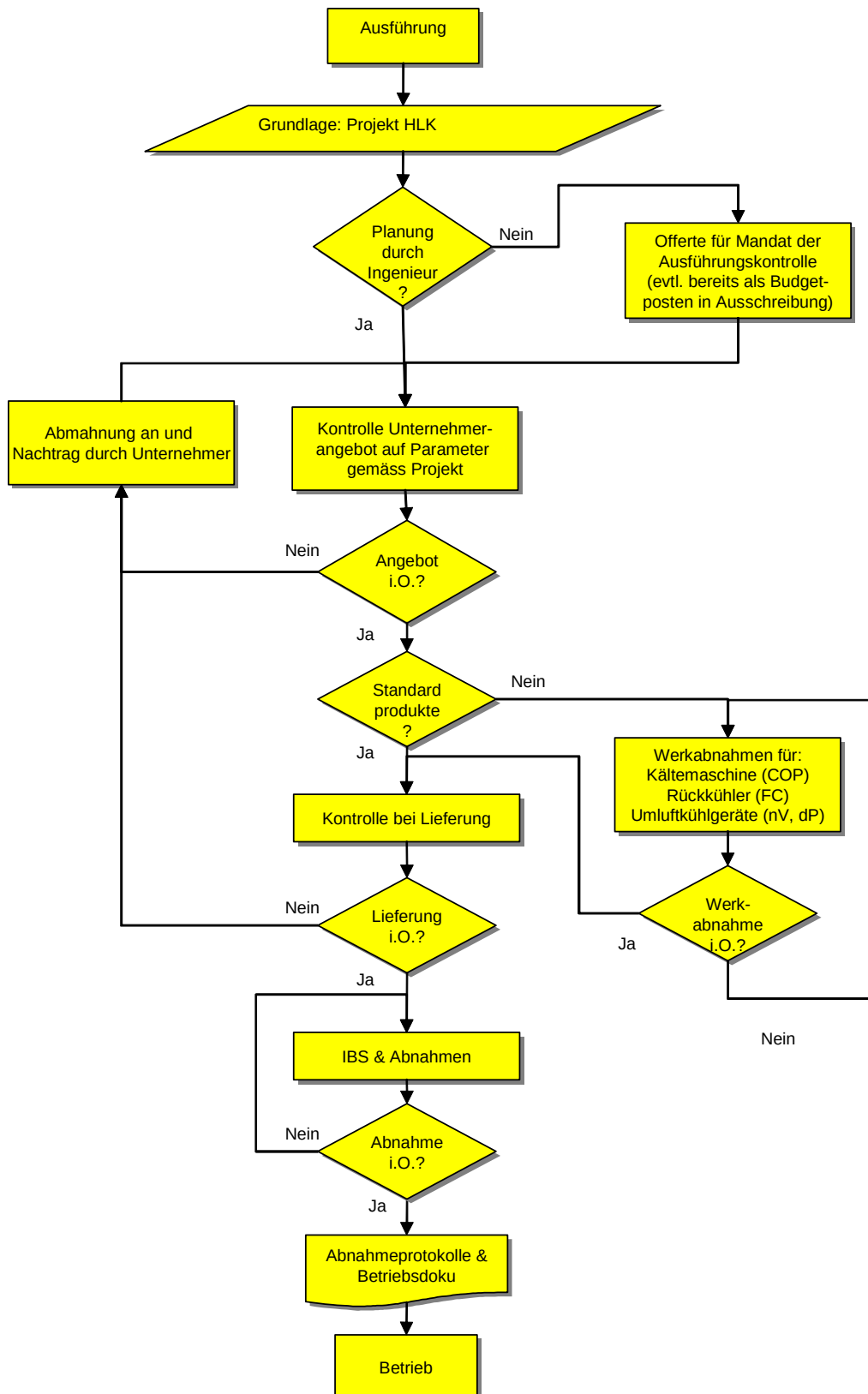
Die wesentlichen Aspekte sind in nachstehenden Flussdiagramm dargestellt:



6.3. Phase "Ausführung"

Die im Projekt definierten Parameter der HLK-Anlagen sind in der Phase der Ausführung mittels entsprechenden Belegsdokumenten zu kontrollieren.

Die wesentlichen Aspekte sind in nachstehenden Flussdiagramm dargestellt:



6.4. Phase "Betrieb"

Die in der Ausführungsphase erstellten und mit der Abnahme übergebenen HLK-Anlagen sind in der Betriebsphase mittels entsprechenden Auswertungen bezüglich Energieverbrauch und –effizienz laufen zu kontrollieren.

Die wesentlichen Aspekte sind in nachstehenden Flussdiagramm dargestellt:

