

ENERGIEEFFIZIENZ – MESSEN UND BEWERTEN

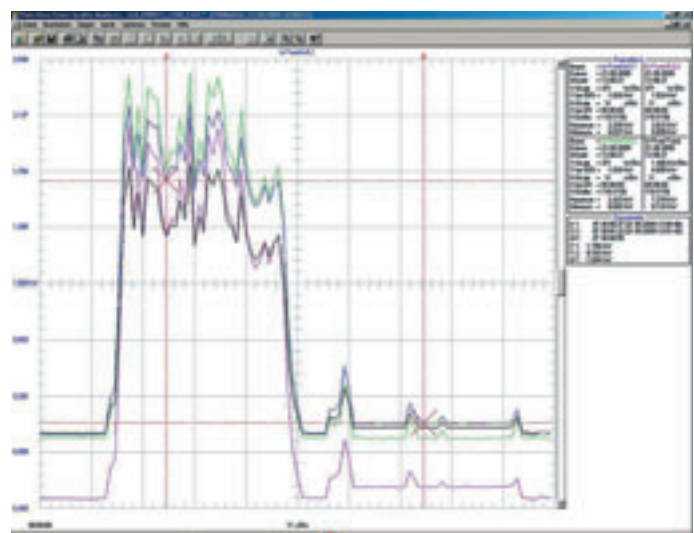
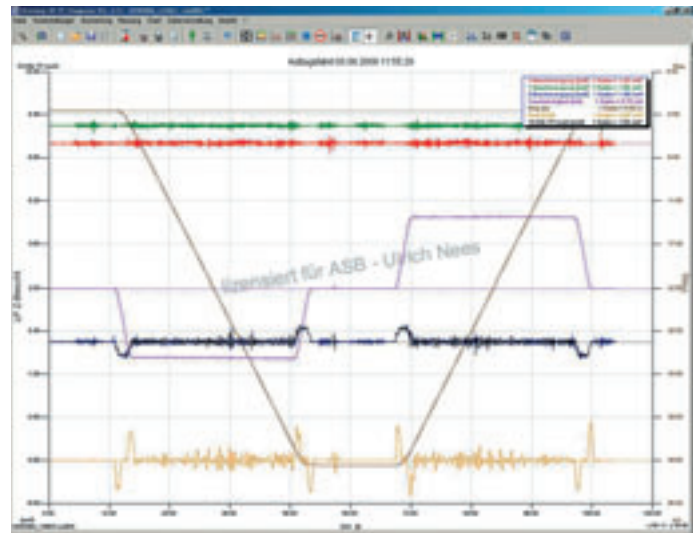
ULRICH NEES¹⁾

Messen, Berechnen und Bewerten sind die Grundlagen zur Beurteilung einer Aufzugsanlage in Bezug auf Energieeffizienz, Fahrqualität und Nachhaltigkeit. Einige Betreiber von Aufzugsanlagen haben sich intensiv mit der VDI 4707 beschäftigt, um langfristig Kosten zu reduzieren und Verfügbarkeit zu erhöhen.

Im Folgenden werden wir die Anforderungen und Wünsche einiger Betreiber die auch über die VDI 4707 hinausgehen näher beleuchten.

Normen und Richtlinien

Grundlage unserer Messungen, Berechnungen und Bewertungen ist die Richtlinie VDI 4707 Blatt 1 „Aufzüge Energieeffizienz“ vom März 2009. Die Messungen wurden auf Grundlage der pr DIN EN ISO 25745-1 „Energiespeicherung und Konformität, der EN 61000 „Elektromagnetische Verträglichkeit, Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen“ und der EN 50160 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversor-

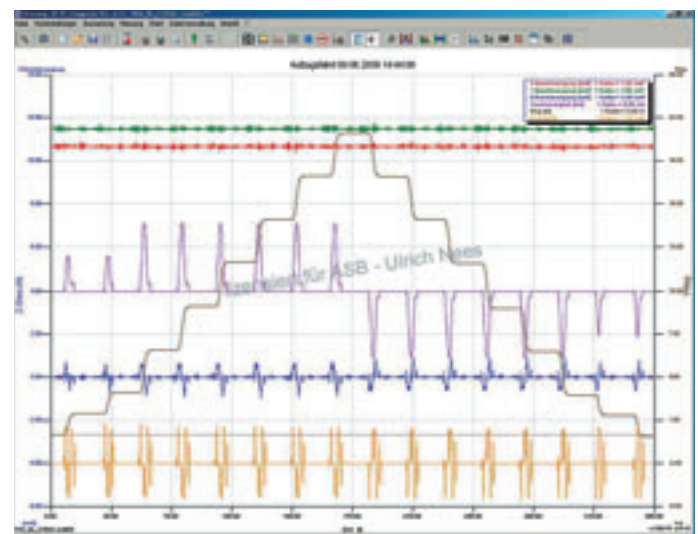
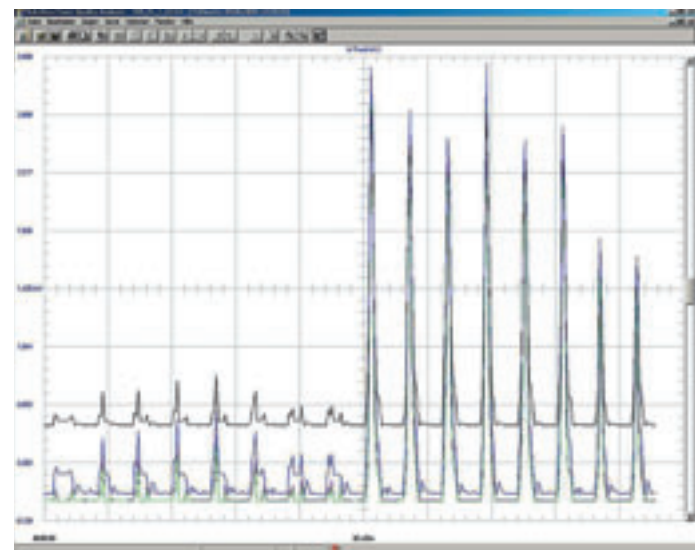


Messung des Energiebedarfs: Messung Fahrt von oben nach unten und zurück ohne Beladung

gungsnetzen“ durchgeführt. Zur Ermittlung der Fahrqualität und dem Zusammenspiel von Komponenten wurden Messungen gem. ISO 18738 Fahrqualität durchgeführt.

Messgeräte

Die eingesetzten Mess- und Prüfgeräte entsprechen den Vorgaben aus den o.g. Normen und Richtlinien. Bei den Messungen werden Stromzangen entsprechend den jeweiligen Messbereichen für die 3-Phasen und Neutralleiter (L1, L2, L3 und N) ausgewählt. Die Betreiber haben besonderen Wert daraufgelegt, dass u.a. die Stromzangen den zu erwarteten Messbereichen entsprechend eingesetzt werden. Für Messungen im Stillstand (Stand-by) wurden z.B. Stromzangen bis max. 5A eingesetzt, um mögliche Messfehler so gering als möglich zu halten. Strom-

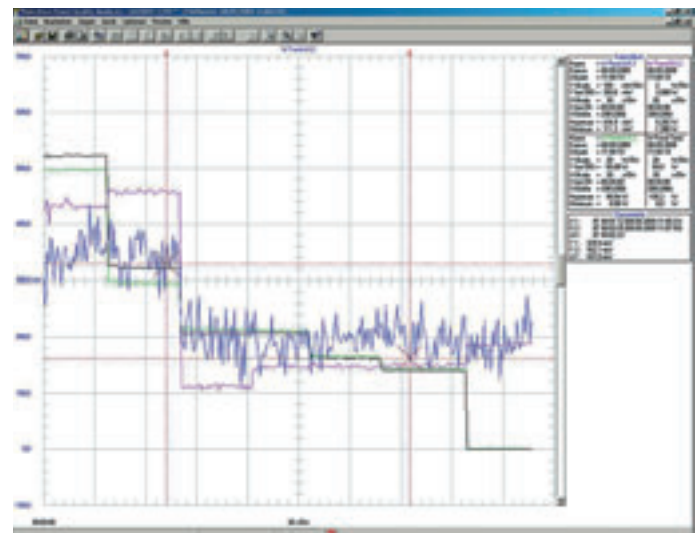


Messung des Energiebedarfs: Fahrt Haltestelle zu Haltestelle zur Optimierung von Beschleunigung / Verzögerung und des Turlaufs

1) Aufzug-Systeme + Beratung

zangen mit einem Messbereich bis 40A, 400A usw. wurden ausschließlich für Messungen im Fahrbetrieb verwendet.

Vor den Messungen wurden eine Reihe von Tests durchgeführt, um zu klären, wie viele Messwerte müssen in einer Sekunde ermittelt werden, um in der Beschleunigungsphase ausreichende Daten zu erhalten. In der VDI 4707 werden 3-Messwerte/Sekunde verlangt, die Herren auf Seiten der Betreiber haben sich auf 5 Messwerte/Sekunde geeinigt, was die zur Verfügung stehenden Messsysteme merklich einschränkte. Eine weitere Anforderung war, dass nicht nur die Leistungsaufnahme gemessen wird, sondern auch Strom, Spannung, Transienten und Frequenz. Dass alle Werte über den Messzyklus graphisch und als Effektivwerte aufgezeichnet werden, um entsprechende Auswertungen zu fahren, rundete die Anforderungen entsprechend ab. Als Weiteres wurden bei allen Aufzugsanlagen Messungen nach ISO 18738 durchgeführt, um den Einfluss der Fahrqualität (Konstruktion, Komponenten, Subsysteme, Montage) auf den Energiebedarf zu dokumentieren.



Messung des Energiebedarfs einzelner Komponenten

Durchgeführte Messungen

Die Messung des Energiebedarfs wurde nach VDI 4707 durchgeführt und die entsprechenden Berechnungen für spez. Energiebedarf für die Fahrt, Stillstand pro Tag, spezifischer Gesamtbedarf, Nenn-Jahresenergiebedarf usw. gem. VDI 4707 berechnet. Es hat sich schnell herausgestellt, dass die ermittelten und berechneten Werte nach VDI 4707 nicht zwingend mit den tatsächlich gemessenen Absolutwerten, bezogen auf den Nenn-Jahresenergiebedarf, übereinstimmen. Nach einigen Diskussionen und Auswertung der bis dahin durchgeführten Messungen wurde beschlossen, um eine Vergleichbarkeit zu anderen haustechnischen Anlagen herzustellen, zu klären, warum Differenzen auftreten. An 24 ausgewählten Aufzugsanlagen, von gesamt 73 Anlagen, wurden geeichte und verplombte Energiezähler, Fahrtzähler, Betriebsstundenzähler, Zähler zur Registrierung der Türbewegungen und Lastmessenrichtungen mit Analogausgang eingebaut. Ziel der Messungen war es u. a. die Betriebsstunden, Beschleunigungen/Verzögerungen, Türspiele, Beladung, Fahrtstrecke usw. zu ermitteln. Alle gesammelten Betriebsdaten wurden nach einem Monat ausgewertet und erneut Berechnungen auf Basis der VDI 4707 durchgeführt. Die Abweichungen auf den hochgerechneten Nenn-Jahresenergiebedarf waren nun etwas geringer aber noch nicht annähernd

vergleichbar mit der Messgenauigkeit die scheinbar an andere haustechnische Anlagen gelegt wird. Die Differenz zwischen dem tatsächlichen Energieverbrauch und dem berechneten Energieverbrauch differierte je nach Aufzugsanlage zwischen +18% bis +43%. Es wuchs sehr schnell die Erkenntnis bei den Betreibern, dass eine Aufzugsanlage keine Klimaanlage oder eine Waschmaschine ist, sondern ein System, dass von vielen Faktoren beeinflusst wird. Auf Basis der durchgeführten Messungen wurde allen Beteiligten schnell bewusst, dass drei baugleiche Aufzugsanlagen einer Dreiergruppe nicht zwingend einen vergleichbaren spez. Fahrtbedarf gem. VDI 4707 aufweisen müssen.

Die unterschiedliche Fahrqualität (Montagequalität) der Aufzugsanlagen ergab eine Differenz bei der Referenzfahrt, gemessen mit leerem Fahrkorb gem. VDI von 14%. Weitere Messungen an „vergleichbaren“ Aufzugsanlagen in Bezug auf Traglast und Fördergeschwindigkeit usw. hat gezeigt, dass der berechnete spez. Fahrtbedarf in Wh/(kg/m) und der daraus ermittelte Nenn-Jahresenergiebedarf mit den Verbrauchsmessungen an den Anlagen nicht zwingend übereinstimmt. Außer der Fahrqualität beeinflussen noch andere Faktoren den tatsächlichen Energiebedarf einer Aufzugsanlage. Konstruktion, Komponenten, Subsysteme und deren Zusammenspiel, Montagequalität und Umweltbedingungen beeinflussen den Energiebedarf einer Aufzugsanlage nachhaltig. Als die Betreiber am Punkt der Erkenntnis angelangt waren, gab es nur zwei Möglichkeiten: „Den spez. Fahrtbedarf und den Stillstandsbedarf zur energetischen Bewertung einer Aufzugsanlage heranzuziehen und den Nenn-Jahresenergiebedarf von der Betrachtung auszuklammern oder selbst eine Berechnungsgrundlage zu schaffen, mit der es möglich ist den Nenn-Jahresenergiebedarf möglichst genau zu ermitteln“. Die Entscheidung wurde relativ schnell getroffen mit dem Ziel, den Nenn-Jahresenergiebedarf mit einer Abweichung von +/-10% vom tatsächlich gemessenen Energieverbrauch zu ermitteln. Für die Ermittlung der notwendigen Faktoren und Parameter wurden unterschiedliche Konstruktionen untersucht, Komponenten und Subsysteme, Einfluss von Umweltbedingungen, Montagequalität. Basis zur Ermittlung der Daten waren u.a. Messungen nach ISO 18738 und diversen Tests mit Komponenten und Subsystemen. Die Gleichung zur Ermittlung des Nenn-Jahresenergiebedarfs ist durch die Berücksichtigung von > 30 Faktoren „sperrig“ ausgefallen. Nach einigen Anpassungen und Vergleichen mit tatsächlichen gemessenen Verbrauchswerten an 73 Aufzugsanlagen wurde eine „Genauigkeit“ von -3,x% bis +5,x% erreicht.

Da die berechneten Werte und die gemessenen Werte lediglich einen Zeitraum von 5 Monaten abdecken sind noch Überraschungen möglich. Überraschungen erwarten wir vor allem von zwei Punkten die wir in den letzten 5 Monaten beobachten konnten. Die Fahrqualität bestimmter Aufzugsanlagen verändern sich mit zunehmenden Betriebsstunden nicht unerheblich, was sich direkt im spez. Fahrtbedarf niederschlägt und damit in dem Nenn-Jahresenergiebedarf. Der zweite Punkt sind vor allem die Temperaturschwankungen. Bestimmte Antriebssysteme reagieren bei steigenden Temperaturen mit einem überproportionalen Energiebedarf. Die Änderung der Motorinduktivität durch steigende Temperaturen erhöhte den Energiebedarf und reduzierte die Fahrqualität der Aufzugsanlage. Die Änderung der Fahrqualität lässt sich vor allem auf zwei Faktoren begrenzen: 1) Die Konstruktion bedingt einen erhöhten Verschleiß von Komponenten über die Zeit, 2) einige Subsysteme wurden mit zu geringer Leistung ausgelegt. Es gibt noch eine

Reihe weiterer Faktoren die den Energiebedarf über die Zeit beeinflussen, aber nach unserem heutigen Wissensstand den Energiebedarf nicht nachhaltig beeinflussen. Einen Punkt möchten wir an dieser Stelle doch noch aufgreifen, das Zusammenspiel von Komponenten bzw. von Komponenten und Subsystemen in der Konstruktion entscheidet über die Qualität und Standzeit der Aufzugsanlage. Messungen auf Basis der ISO 18738 Fahrqualität und der VDI 4707 Energieeffizienz belegen diesen Fakt durch reproduzierbare Messungen.

In den letzten 5 Monaten haben wir eine Reihe von Daten gesammelt und zum Teil auch bereits ausgewertet. Uns ist bewusst, dass die erstellte Gleichung mit den Unmengen an Faktoren und Parametern im Tagesgeschäft keine Anwendung finden kann. Wir haben aber eine Reihe von Daten und Fakten gewonnen, die uns zeigen, welche Komponenten und Subsysteme bei welcher Konstruktion einen geringen Energiebedarf benötigen und eine hohe Standzeit erreichen.

Messungen nach VDI 4707 und ISO 18738 ergänzen sich und helfen bei der Optimierung von Aufzugsanlagen und den eingesetzten Komponenten. Beide Messungen lassen auch Rückschlüsse auf die Qualitätsentwicklung einer Aufzugsanlage über die Zeit (Betriebsstunden) zu. Die Daten lassen auch einen Schluss in Bezug auf die Energieeffizienzklasse zu, eine Aufzugsanlage die z.B. nach der Montage die Energieeffizienzklasse „B“ erreicht, kann nach einiger Zeit (Betriebsstunden) in eine andere Energieeffizienzklasse (ab)rutschen. Eine Energieeffizi-

enzklasse ist also nichts was für alle Zeit Bestand hat, da wichtige Faktoren im System Aufzug je nach Konstruktion und Qualität der Komponenten im Zusammenspiel veränderlich sind.

Fazit

Mit der VDI 4707 Energieeffizienz haben wir jetzt ein Werkzeug mit dem Aufzugsanlagen einheitlich auf ihren Energiebedarf hin geprüft und klassifiziert werden können. Auch wenn es bei dem Nenn-Jahresenergiebedarf systembedingt Abweichungen gibt, ist die prinzipielle Ausrichtung und Bewertung sicherlich notwendig. Bei der Betrachtung und Bewertung haben Aufzugsanlagen mit hohen Betriebsstunden z.B. in Krankenhäusern oder Hochleistungsanlagen in Bürotürmen so gut wie keine Möglichkeit bei der Berechnung der Energieeffizienzklasse im forderen Feld zu landen. Es sollte uns bewusst sein, dass ein Energielabel im Fahrkorb einer gewissen Dynamik unterliegt und eine Energieeffizienzklasse A nicht zwingend nach 2 Jahren noch den tatsächlichen Messwerten entspricht. Nach unseren Erfahrungen aus den letzten 5 Monaten wird es nach Qualität der Aufzugsanlage bzw. deren Komponenten und Konstruktion Veränderungen im Energiebedarf geben.

Unsere Erkenntnis nach 5 Monaten ist, mit den Messwerten aus o.g. Anlagen gem. ISO 18738, VDI 4707 und einigen Berechnungen lassen sich belastbare Voraussagen über die Fahrqualität und den Energiebedarf einer Aufzugsanlage über die Zeit bzw. Betriebsstunden treffen.

ENERGY EFFICIENCY – MEASUREMENT AND ASSESSMENT

ULRICH NEES¹⁾

Measuring, calculating and evaluating are the phases used when assessing an elevator in regard to energy efficiency, ride quality and ecological sustainability. Some elevator operators have devoted great attention to VDI 4707, aiming to increase availability and reduce costs over the long term.

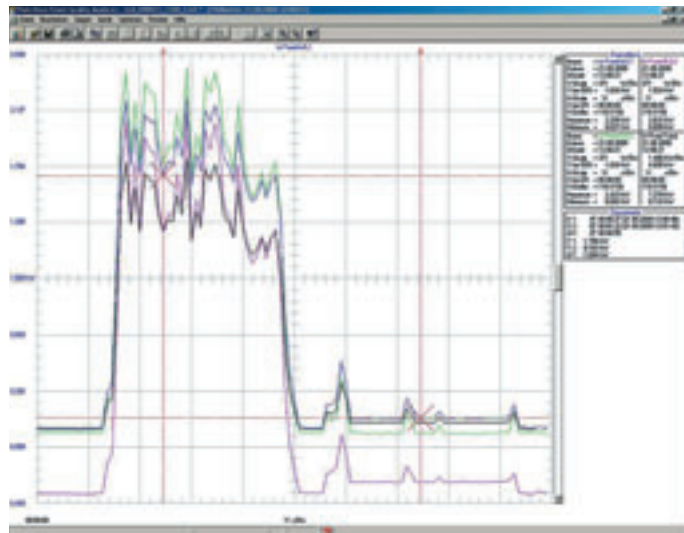
Below we will take a closer look at the expectations and desires of some operators, going beyond the requirements of VDI 4707.

Standards and guidelines

Serving as the basis for our measurements, calculations and evaluations is VDI Guideline 4707, Sheet 1, “Energy Efficiency in Elevators”, dated March 2009. Measurements were made on the basis of three norms: the draft standard – pr DIN EN ISO 25745-1, “Energy performance of lifts and escalators. Part 1. Energy measurement and conformance”, EN 61000 on “Electromagnetic compatibility, Limit values – Limiting voltage changes”, and EN 50160 on “Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks”. Measurements were carried out as per ISO 18738 – “Measurement of lift ride quality” – in order to evaluate ride quality and the interactions among components.



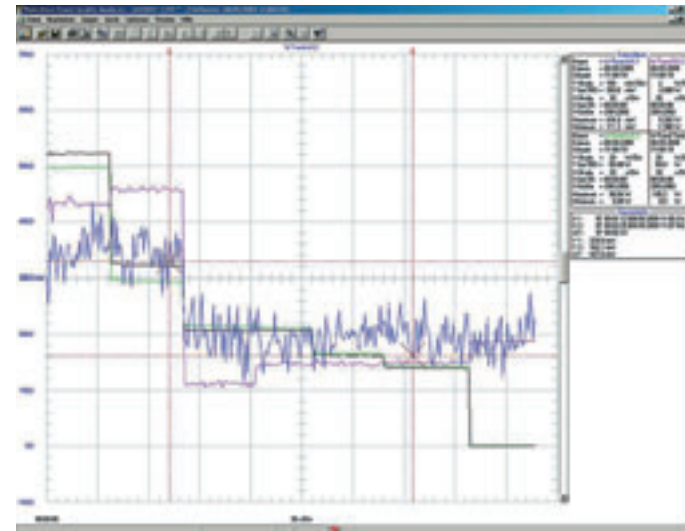
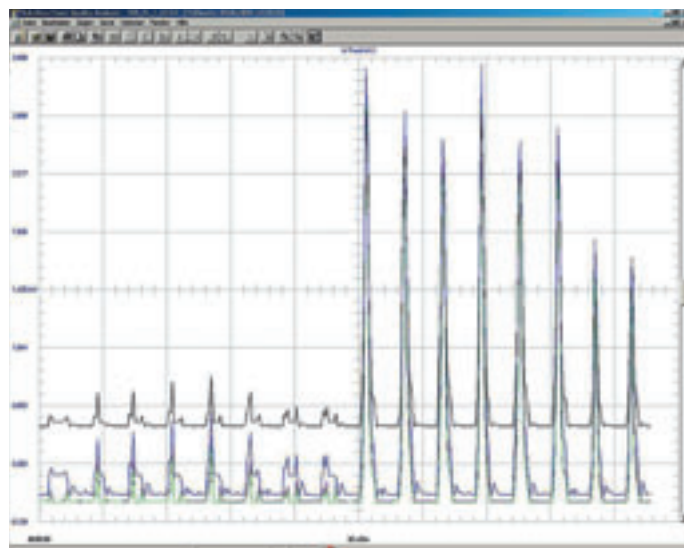
1) Aufzug-Systeme + Beratung



Measuring energy demand: Measurement trips traveling from top to bottom and back, without payload

Measuring instruments

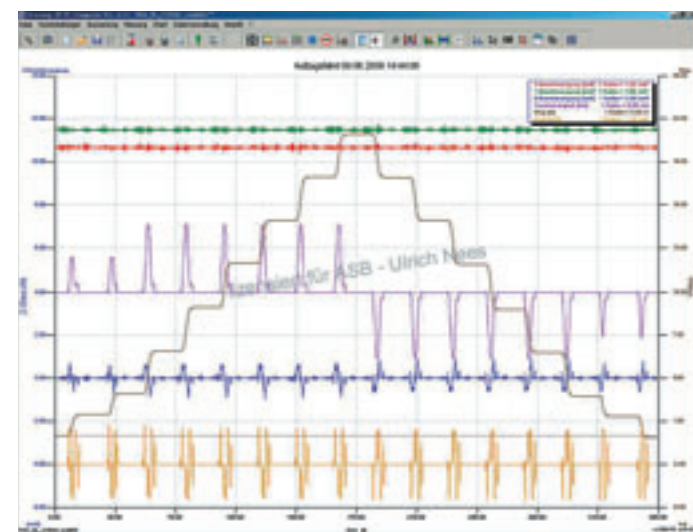
The measurement and testing devices used here comply with the specifications contained in the above-mentioned standards and guidelines. During measurements clip-on ammeters with



Measuring the energy requirements of individual components

Measurements carried out

Energy demand was measured in accordance with VDI 4707. The associated calculations for specific energy requirements for travel, standby throughout the day, specific total demand, nominal annual energy requirements etc. were made as per that VDI guideline. It soon became apparent that the values determined and calculated using VDI 4707 do not of necessity correspond to the absolute values actually measured, referenced to nominal annual energy requirements. After some discussion and the evaluation of the measurements already carried out by that point it was decided – in the interest of achieving comparability with other technical systems in the building – to determine the reasons for these disparities. Installed at 24 elevators, selected from a total of 73 lifts, were calibrated and sealed electric



Measurement of energy demand: Trip from landing to landing so as to optimize acceleration, deceleration and door operation

appropriate ranges were attached to the three live conductors and the neutral conductor (L1, L2, L3 and N). The operators insisted that the ammeters correspond to the values expected to be encountered. When testing at standstill (standby mode), for instance, ammeters measuring up to a maximum of 5 A were used in the interest of keeping potential measurement error as low as possible. Ammeters with measurement ranges of up to 40 A, 400 A etc. were used only for measurements made during travel.

Several tests were carried out prior to making the measurements themselves. This was done in order to clarify the number of measured values to be registered per second. This was in the interest of acquiring sufficient data during the acceleration phase. VDI 4707 specifies three measurement values per second while the operators' representatives agreed on five values per second. This imposed a significant restriction on the choice of measurement systems. A further requirement was that not only the power consumption be measured, but the current, voltage, transients and frequency, as well. A final stipulation was that all the values be recorded both graphically and as effective values, throughout the measurement cycle, laying the groundwork for the corresponding evaluations. Additionally, measurements as per ISO 18738 were conducted for all elevators to document the influence of ride quality (engineering design, components, subsystems, installation) on energy demand.

meters, trip counters, operating hours counters, counters to register door movements and load measuring devices delivering analog output. The purpose of the measurements was to determine the number of operating hours, acceleration and deceleration phases, door cycles, loading, travel distances etc. All the operating data collected were evaluated after one month and calculations based on VDI 4707 were once again carried out. The results were then somewhat closer to the extrapolated nominal annual energy requirements. But the situation was still not even marginally comparable with the measurement accuracy that seems to be required for other technical equipment. The difference between actual and calculated energy consumption varied, depending on the elevator, by between 18% and 43%. The operators quickly realized that an elevator is not an air conditioning unit or a washing machine but rather a system that is influenced by numerous factors. The measurements carried out here quickly convinced everyone involved that three identical elevators in a three-unit bay would not necessarily exhibit identical specific consumption during travel – as determined using VDI 4707.

Divergent ride qualities (a function of installation quality) for the elevators resulted in a difference of 14% during the reference trip, measured with the car empty as per VDI. Additional measurements at elevators that were “comparable” in reference to payload, travel velocity etc. showed that the calculated specific demand during travel, expressed in Wh/(kg/m), and the nominal annual energy requirements calculated from that data will not necessarily correspond to actual consumption measurements carried out at the elevators. It is not just ride quality that determines the actual energy requirements for an elevator; other factors also play a role. The engineering design, the individual components, subsystems and their interaction, the installation quality and ambient conditions can have an ongoing influence on a lift's energy requirements. Once the operators had come to this realization, there were only two possibilities: “To use the specific travel demand and the standby demand to assess an elevator's energy consumption, disregarding the nominal annual energy requirements during evaluations or, alternately, to create a calculation base that lets us determine, as exactly as possible, the nominal annual energy requirements”. The decision was reached relatively quickly. The declared intention was to determine nominal annual energy requirements at deviation of no more than $\pm 10\%$ from the energy consumption actually measured. Determining which factors and parameters were needed made it necessary to examine a variety of engineering designs, components and subsystems, and the influence of ambient conditions and installation quality. Among the foundations for acquiring data were measurements as per ISO 18738 and various tests on components and subsystems. Due to the fact that more than thirty factors are taken into consideration, the equation used to determine nominal annual energy requirement is “cumbersome”, to say the least. After some adaptations and comparisons with consumption values actually measured at 73 elevators, a “precision” level of $-3.x\%$ to $+5.x\%$ was achieved.

Since the calculated values and the measured values cover only a period of five months, there may still be some surprises in store. We are expecting the unexpected particularly in regard to two items we have been able to observe in the past five months. The ride quality of certain lifts changes – by no means insignificantly – with increasing hours of operation. This is reflected directly in specific demand during travel and, as a consequence, in the nominal annual energy requirements. The

second major factor is temperature fluctuation. Certain drive systems respond to rising temperatures by consuming more energy. The change of motor inductivity in response to rising temperatures increases energy requirements and reduces ride quality in the elevators. The change in ride quality can be limited to two primary factors. Firstly, the design entails increased component wear over a period of time. Secondly, some subsystems were engineered for inadequate performance. There are several other factors that will influence energy demand over time but, according to what we know at present, they will not have any permanent impact on energy requirements. We would like to mention one further factor at this juncture: the interactions among components or between components and subsystems in the engineering design are decisive for the elevator's quality and service life. Ride quality measurements based on ISO 18738 and energy efficiency measured as per VDI 4707 prove this fact by way of reproducible measurements.

In the last five months we have collected a wealth of data, some of which have already been evaluated. We are fully aware that the equation drafted here, with a vast number of factors and parameters, will hardly find any use in day-to-day business. But we have assembled a number of facts and figures showing us which components and subsystems draw a lower amount of electricity in certain designs while achieving extended service life. Measurements as per VDI 4707 and ISO 18738 complement each other and are a great help when optimizing elevators and the components used in them. Both measurement routines permit drawing conclusions about quality changes in an elevator through time (operating hours). These data also allow conclusions in regard to the energy efficiency class. An elevator that, for example, achieves energy efficiency class “B” after installation may after some time (operating hours) slip into a lower energy efficiency class. The efficiency class is not something that will endure for all time since critical factors in the system can change during operation, depending on their engineering designs and component quality.

Summary

The VDI 4707 guideline on energy efficiency gives us a tool with which elevators can be uniformly examined and classified in regard to their energy needs. Even though, due to the details of the particular elevator, there will be deviations in regard to nominal annual energy requirements, achieving fundamental alignment and evaluation is surely necessary. In the course of observation and evaluation it was found that elevators with a large number of operating hours – such as those in hospitals or high-performance systems in office towers – will almost surely not be among the frontrunners in the calculation of the energy efficiency class. We should be aware that an energy label in the car is subject to certain dynamics and that an energy efficiency category of “A” will not necessarily reflect the actual measured values after two years in service. Our experiences in the past five months have shown that there will be changes in energy consumption depending on the engineering of the lift and the quality of the elevator as a whole and of its components. Our findings after five months are that using the values for the above-mentioned elevators, measured as per ISO 18738 and VDI 4707, taken together with our own calculations, will make it possible to reliably forecast an elevator's ride quality and energy demand over a period time or over a number of operating hours.

