

Energieeffiziente Beleuchtung in Gebäuden



Dipl.-Ing. Architekt Roman Jakobiak.

Die 2002 verabschiedete EU-Richtlinie zur Gesamtennergieeffizienz in Gebäuden gab den Mitgliedstaaten auf, die Beleuchtung in Energieausweisen und energetischen Nachweisen zu berücksichtigen. Die daraufhin auf Grundlage eines Normungsantrages des Bauministeriums erarbeitete DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“ bildet seit 2007 das Bilanzierungsmodell der Energieeinsparverordnung für Nichtwohngebäude. Teil 4 dieser Normenreihe beschreibt die

Berechnung des Energiebedarfs der Beleuchtung.

Von der energetischen Bilanzierung geht ein erheblicher Impuls für die Beleuchtung aus. Dabei ist die Branche ohnehin dynamisch. Die technische Entwicklung insbesondere der Leuchtmittel, Trends der Innenraumgestaltung, sowie die Diskussion um die biologische Wirkung des Lichts und ökologische Aspekte der Beleuchtung, wirken auf die Entwicklung von Produkten und Leitbildern.

Dabei erscheinen die Anforderungen an eine energieeffiziente Beleuchtung vergleichsweise einfach: Die Beleuchtungsaufgabe soll mit einer geringen installierten Leistung erfüllt werden und die Beleuchtungsanlage soll nur in dem Maße betrieben werden, in dem künstlich erzeugtes Licht tatsächlich erforderlich ist. Das größte Einsparpotenzial bietet das

Tageslicht. Im Folgenden werden die Haupteinflussgrößen auf den Energiebedarf der Beleuchtung diskutiert.

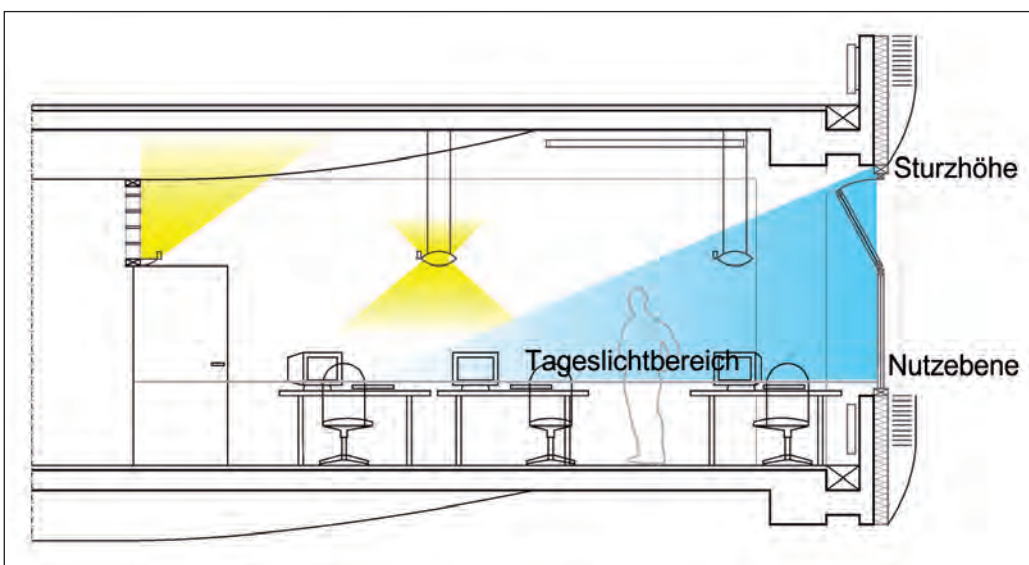
1. Tageslicht

Mit dem Tageslicht steht uns eine regenerative Lichtquelle zur freien Verfügung, deren Qualität von künstlichem Licht nicht erreicht wird. So liegt die Lichtausbeute des Tageslichtes bei exzellenter Farbwiedergabe über derjenigen heute verfügbarer künstlicher Lichtquellen. Als großflächige Leuchtquelle ermöglicht der Himmel bei guter Kontrastwiedergabe eine blendfreie Beleuchtung. Tageslicht kann je nach Nutzungsprofil und Beleuchtungsaufgabe bis zu 90 % des im Innenraum benötigten Lichts liefern. Die intensive Nutzung des Tageslichtes ist damit eine Voraussetzung für energieeffiziente Beleuchtung. Tageslichtbeleuchtung ist auch qualitativ erste Wahl – bei Tageslicht fühlen sich Menschen wohl.

Die Vermutung, intensive Tageslichtnutzung sei mit einem hohen Glasanteil der Fassade gleichzusetzen, ist jedoch falsch. Für die Tageslichtversorgung reicht in der Regel ein Glasflächenanteil der Fassade zwischen 30 % und 50 %. Höhere Glasflächenanteile begünstigen eher die sommerliche Überwärmung, als dass sie den Tageslichtanteil an der Beleuchtung erhöhen. Das liegt daran, dass zusätzliche Glasflächen vornehmlich das Beleuchtungsniveau in Fensternähe anheben, die Nutzung des Tageslichts jedoch nicht in die Raumtiefe hinein ausdehnen können. Wichtig ist, die Fenster hoch in der Wand anzuordnen, damit das Tageslicht bei bedecktem Himmel möglichst tief in den Raum eindringt. Der Glasanteil im unteren Wandbereich trägt nur wenig zur Tageslichtversorgung bei. Nach DIN V 18599-4 beträgt die Tiefe des Tageslichtbereichs das Zweieinhalbfache der Höhe des Fenstersturzes über der Nutzebene. Mit lichtlenkenden Tageslichtsystemen kann im Falle einer besonnten Fassade eine größere Raumtiefe versorgt werden. Große Gebäudetiefen können jedoch nur durch Dachoberlichter mit Tageslicht versorgt werden.

Im Sinne einer intensiven Tageslichtnutzung sind die folgenden Punkte zu beachten:

- tiefe Räume und innen liegende Flächen vermeiden,
- ausreichend Abstände zu Nachbargebäuden einhalten,
- ausreichend Fensterflächen vorsehen, Fenster möglichst hoch anordnen, hoher Lichttransmissionsgrad der Verglasung,



Das Tageslichtniveau nimmt vom Fenster zur Raumtiefe hin ab. Bei tieferen Räumen kann nur der fensternahe Bereich mit Tageslicht beleuchtet werden.

– rückziehbare, lichtlenkende Sonnenschutzsysteme verwenden.

Die Nutzung des Tageslichts führt jedoch erst durch Ausschalten oder Dimmen zu Einsparungen bei der künstlichen Beleuchtung. Siehe hierzu Abschnitt 3.3: Kontrollsysteme – Tageslicht.

2. Künstliche Beleuchtung

2.1. Lampe

Als Lampe wird in der Lichttechnik das Leuchtmittel bezeichnet. In der Vergangenheit wurde die Energieeffizienz der Beleuchtung wesentlich durch Fortschritte in der Lampentechnik gesteigert. Nicht nur die Lichtausbeute, auch die Farbwiedergabe und die Lebensdauer wurden verbessert. Dennoch setzen auch heutige Leuchtmittel weniger als 50 % der aufgenommenen elektrischen Leistung in Licht um. Weitere Steigerungen sind also möglich. Stabförmige Leuchtstofflampen und Metallampfen markieren mit einer Systemlichtausbeute von mehr als 80 Lumen je Watt derzeit den Stand der Technik. LEDs haben das technische Potenzial, diesen Wert zu übertreffen, die aktuell im Markt befindlichen Produkte schaffen das jedoch noch nicht.

In vielen Nichtwohngebäuden sind noch alte 26 mm Leuchtstofflampen mit konventioneller Vorschalttechnik im Einsatz. Durch neue 16 mm Leuchtstofflampen mit elektronischen Betriebsgeräten kann in diesen Gebäuden sowohl die Beleuchtungsstärke angehoben, als auch die aufgenommene Leistung reduziert werden.

Im Privatbereich ist die Allgebrauchsglühlampe sehr verbreitet. Aus energetischer Sicht ist Sie durch energieeffizientere Leuchtmittel zu ersetzen. Während die sogenannte Energiesparlampe, hierbei handelt es sich um

pe mit integriertem konventionellen Betriebsgerät und Einschraubfassung, aufgrund der als minderwertig empfundenen Lichtqualität auf wenig Akzeptanz beim Verbraucher trifft, erhofft man sich von den Leuchtdioden eine höhere Akzeptanz. – Sie sind teuer, gelten als chic und haben nicht das Image von Hartz IV Licht.

Auch in Nichtwohngebäuden sind noch Glühlampen anzutreffen. Insbesondere in Verkaufseinrichtungen werden Waren vielfältig noch mit Halogenglühlampen angestrahlt. Diese können zumeist durch die wesentlich effizienteren Metallampfen, teilweise auch durch LED-Strahler ersetzt werden. Durch diese Maßnahmen kann die Leistungsaufnahme bei gleichem Beleuchtungsniveau auf ein Viertel des Bestandwertes gesenkt werden.

2.2. Leuchte

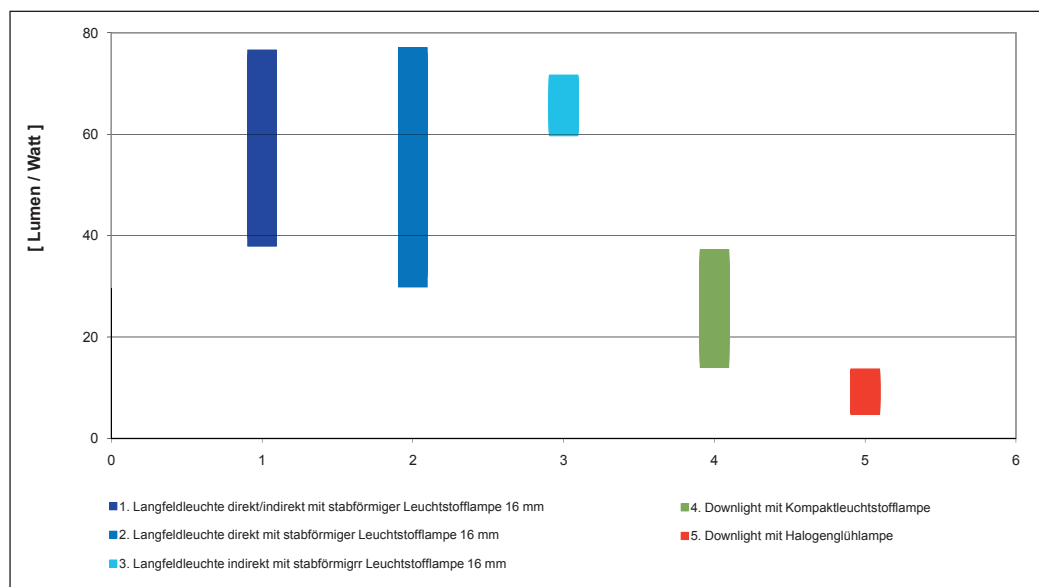
Die Energieeffizienz einer Leuchte wird durch den Betriebswirkungsgrad charakterisiert. Er ist der Quotient aus dem von der Leuchte abgegebenen und dem durch die Leuchtmittel erzeugten Lichtstrom. Auf den ersten Blick überraschend ist der geringe



Außenraffstore mit Tageslichttransportelement. Durch einen separaten Stellwinkel der Lamellen im oberen Bereich des Behangs wird der Raum mit Tageslicht beleuchtet, obwohl der Raffstore darunter geschlossen ist. Hier wurde der Behang nicht ganz hinuntergefahren, damit der Sichtkontakt ins Freie bestehen bleibt.



Leuchte nach Leuchtmittelwechsel. – Die alten 26 mm Leuchtstofflampen mit konventioneller Vorschalttechnik wurden durch neue 16 mm Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät ausgetauscht. Hierdurch kann die Leistungsaufnahme der Leuchte deutlich gesenkt werden.



Produkt der Systemlichtausbeute des Leuchtmittels und des Leuchtenbetriebswirkungsgrades für einige typische Leuchte – Leuchtmittel Kombinationen.

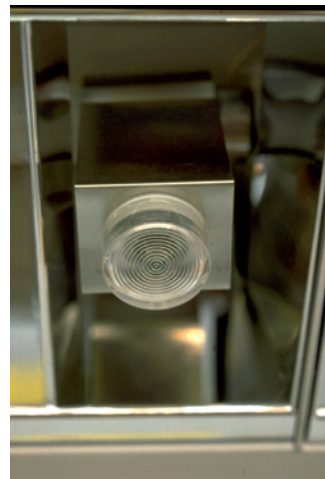
Betriebswirkungsgrad vieler Leuchten von teilweise weniger als 50%. – Anders formuliert: Mehr als die Hälfte des Lichtes wird vernichtet. Ursachen der zum Teil recht gering erscheinenden Betriebswirkungsgrade sind die Entblendung, die Art der Lichtverteilung im Raum und der Wunsch nach möglichst filigranen Leuchten. Während für Langfeld-Spiegelrasterleuchten ein Betriebswirkungsgrad > 0,8 ohne Weiteres erreichbar ist, liegen Kompaktleuchtstofflampendownlights in der Regel deutlich darunter. Es sollten daher nur Leuchten ähnlicher Einbausituation und Lichtverteilung hinsichtlich des Betriebswirkungsgrades miteinander verglichen werden.

Doch nicht nur der Betriebswirkungsgrad ist wichtig. Damit der Lichtstrom im Laufe der Zeit nicht zu stark abnimmt, sollte die Leuchte unempfindlich gegen das Verstauben sein, und es soll-

ten Leuchtmittel mit einer geringen Lichtstromabnahme gewählt werden. Die altersbedingte Lichtstromabnahme von Beleuchtungsanlagen wird durch eine Überdimensionierung der Neuanlage berücksichtigt. Je nach der Sauberkeit des Raumes, der Art der gewählten Komponenten und der Häufigkeit der Wartung kann eine Überdimensionierung zwischen 25% und 100% notwendig werden. – Somit kann durch das Dimmen der Neuanlage ein Einsparpotenzial erschlossen werden.

2.3. Raum

Der Raumwirkungsgrad beschreibt die Effizienz der Lichtverteilung im Raum. Ein hoher Raumwirkungsgrad wird begünstigt durch helle Raumflächen, und dadurch, dass die Leuchten ihr Licht möglichst direkt nach unten auf die zumeist horizontale Nutzebene abstrahlen. Dabei ist eine rein direkte Beleuchtung zwar energetisch vorteil-



Nachträglich durch Aufklipsen auf das Leuchtmittel angebrachter Tageslichtsensor zum tageslichtabhängigen Dimmen der Leuchte.

haft, kann vertikale Flächen jedoch ggf. nur unzureichend ausleuchten.

Durch die nutzungsgerechte Wahl und Anordnung der Leuchten ist eine sowohl energieeffiziente als auch attraktive Beleuchtung möglich. Es gilt, die Arbeitsfläche mit der

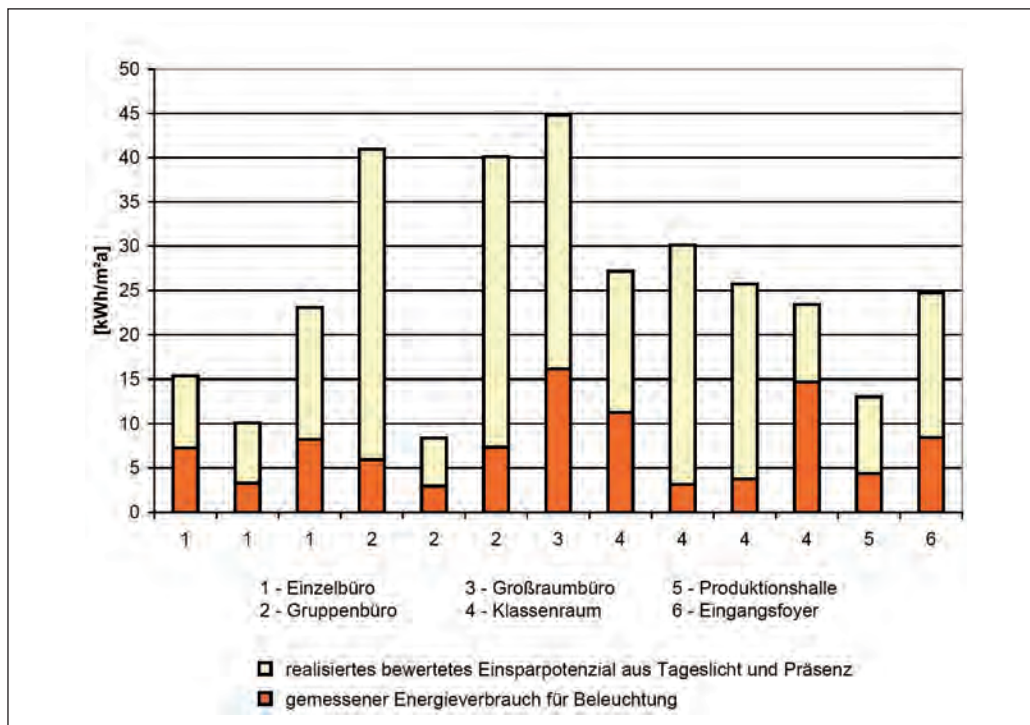
für die Sehaufgabe erforderlichen Beleuchtungsstärke zu beleuchten, während der Umgebungsbereich mit einer geringeren Beleuchtungsstärke auskommt. Eine energetisch optimierte Lichtplanung kann gegenüber der im Standardverfahren der DIN V 18599 ermittelten Bewertungsleistung um 1/3 günstiger liegen. Die passgenaue Planung ist in jedem Fall wirtschaftlich, da sie sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten reduziert.

3. Kontrollsysteme

Kontrollsysteme dienen dazu, die gewünschten Beleuchtungsverhältnisse mit einem möglichst geringen Energieverbrauch bereitzustellen.

3.1. Ausregeln des Wartungsfaktors

Die zur Kompensation der alterungsbedingten Lichtstromabnahme der Beleuchtungsanlage erforderliche Überdimensionierung hat zur Folge, dass die Beleuchtungsstärke der Neuanlage über der geforderten Mindestbeleuchtungsstärke liegt. Daher kann die Anlage auf den erforderlichen Wartungswert der Beleuchtungsstärke gedimmt werden. Die erreichbare Einsparung liegt bei der Hälfte der Überdimensionierung. Für den Standardwartungsfaktor von 0,67 liegt sie bei etwa 25% des Energiebedarfs der Beleuchtung. Der Ordnungsgeber hat das Ausregeln des Wartungsfaktors zur Referenztechnik gemacht, ohne dass es bereits Stand der Technik wäre. Möglich ist eine Konstantlichtregelung, bei der das Beleuchtungs-niveau im Raum durch einen Lichtsensor erfasst wird und die Leuchten entsprechend des gemessenen Lichtwertes gedimmt werden. Diese Technik hat sich als tageslichtabhängige Regelung bewährt. Ein Ausregeln des Wartungs-



Aus Messdaten ermittelte Einsparung aus Tageslicht und Präsenz sowie jährlicher Energieverbrauch der Beleuchtung. Ausgewertet wurde der Verbrauch jeweils eines typischen Raumes werktags zwischen 8 h und 17 h. Die Daten stammen aus den Fallstudien des Projektes „Daylight in Buildings“ (SHC/Task 21, ECBCS Annex 29) der internationalen Energieagentur.

faktors erfordert jedoch eine vergleichsweise genauere Einregelung des Kontrollsystems, sodass die Erfahrungen aus der tageslichtabhängigen Regelung nicht unbedingt übertragbar sind.

Eine andere Möglichkeit besteht in der zentralen Erfassung der Einschaltzeit aller Leuchten und der Kompensation der Lichtstromabnahme durch einen entsprechenden Dimmwert.

In jedem Fall sind dimmbare Betriebsgeräte zur Ausregelung des Wartungsfaktors erforderlich. Für die individuelle Ansteuerung einzelner Leuchten sind darüber hinaus Bussysteme eine Voraussetzung.

3.2. Präsenz

Befindet sich niemand in einem Raum, so sollte die künstliche Beleuchtung ausgeschaltet sein. Je nach Nutzung und Nutzer wird das durch die Abwesenheit gegebene Einsparpotenzial durch nutzerindividuelles Schalten nur unzureichend erschlossen. Präsenzdetectoren bieten hier Abhilfe. Sie schalten das Licht, wenn über einen festzulegenden Zeitraum keine Präsenz detektiert wird, aus. Obwohl es sich um eine offensichtlich sinnvolle Maßnahme handelt, sind Beschwerden gerade im Zusammen mit Präsenzdetectoren häufig: Das Licht wird ausgeschaltet, obwohl sich eine Person im Raum aufhält. Gerade

die konzentrierte Arbeit am Schreibtisch, bei der sich der Nutzer wenig bewegt, wird gegebenenfalls nicht erfasst. Der Planer sollte die Erfassungsbereiche der Sensoren auf die Lage der Arbeitsplätze abstimmen. Gegebenenfalls sind mehrere Sensoren in einem Raum erforderlich, die Verzögerungszeit sollte so lang gewählt werden, bis sich auch der ruhigste Beamte einmal regt. Ausgeschlossen sind Fehldetektionen auch dann nicht.

3.3. Tageslicht

Sowohl die Systeme der Fassade, als auch das künstliche Licht sind zu steuern. Bei den Tageslichtsystemen geht es darum, Sonnen- und Blendschutz zu gewährleisten, dabei jedoch den Raum weiterhin mit Tageslicht zu versorgen. Standard ist die strahlungsabhängige Abschirmung der direkten Solarstrahlung vom Innenraum, also die Erfüllung der Schutzaufgabe. Die Versorgungsaufgabe, also die ausreichende Versorgung mit Tageslicht, ist im Regelschema in den meisten Fällen nicht abgebildet. Die Tageslichtversorgung ergibt sich bei geschlossenem Sonnenschutz dann aufgrund der optischen Eigenschaften des Tageslichtsystems. In vielen Fällen ist der Lichttransmissionsgrad des Sonnenschutzes zu gering und das künstliche Licht muss eingeschaltet werden, obwohl die Sonne auf das Fenster scheint.

Die Steuerung und Regelung der künstlichen Beleuchtung ist demgegenüber vergleichsweise einfach. Zum einen steht die in dem Abschnitt 3.1 Kontrollsysteme beschriebene Konstantlichtregelung zur Verfügung. Mit ihr wird eine Leuchte oder eine Schaltgruppe abhängig von dem Messwert eines Lichtsensors gedimmt.

Eine andere Möglichkeit sind Lichtsteuerungen. Bei ihnen wird aufgrund der Außenbeleuchtungsverhältnisse und dem Status der Tageslichtsysteme auf die Tageslichtverhältnisse im Innenraum geschlossen. Den einzelnen Schaltgruppen werden dann abhängig von Steuerkurven Dimmwerte zugeordnet.

In beiden Fällen ist die Einteilung der Schaltgruppen von erheblicher Bedeutung. Nur Leuchten in ähnlichen Tageslichtbereichen sollten zusammengefasst werden.

Anzustreben sind Lösungen, die die Steuerung der künstlichen Beleuchtung und der Tageslichtsysteme in einem schlüssigen Konzept zusammenfassen.

4. Fazit

Intensive Tageslichtnutzung, die Reduktion der installierten Leistung und tageslicht- sowie präsenzabhängiges Dimmen und Ausschalten der künstlichen Beleuchtung sind Merkmale

einer energetisch optimierten Beleuchtungsanlage. Der Steuerung der künstlichen Beleuchtung kommt dabei eine erhebliche Bedeutung zu, da das planerisch erreichte Einsparpotenzial erst durch die Kontrollsysteme voll wirksam werden kann. Der kumulierte Effekt von tageslicht- und präsenzabhängiger Regelung sowie dem Ausregeln des Wartungsfaktors kann den Energiebedarf der Beleuchtung auf weniger als 20% des bei Vollbetriebs der Anlage eintretenden Energiebedarfs senken. Bei dieser entscheidenden Rolle der Kontrollsysteme ist sicherzustellen, dass das eingebaute Kontrollsystem die ihm zugeschriebene Energieeinsparung auch tatsächlich bewirkt. Hier überrascht es, dass für die Komponenten der Kontrollsysteme keine Qualitätskriterien gefordert werden bzw. definiert sind. Der Planer hat so keine Möglichkeit, die auf dem Markt angebotenen Systeme auf Grundlage prüffähiger Kenngrößen miteinander zu vergleichen. Die Gewähr, dass sich die berechneten Energieeinsparungen tatsächlich einstellen, ist so nicht gegeben. Angesichts der erheblichen Kosten des Einbaus dieser Anlagen kann das nicht befriedigen. Denn während der Verordnungsgeber seinen Erfolg an dem auf dem Papier bilanzierten Energiebedarf misst, zählt für den Investor die tatsächliche Einsparung. ◀