

Qualität und Effizienz ganzheitlicher Beleuchtungskonzepte

Zukunftsraum Schule

Stuttgart 17.11.2015

1. Aktuelle Herausforderungen bei der Beleuchtung
2. Kennzahlen und Fakten
3. HCL - Licht für den Menschen
4. Beleuchtung in Schulen
5. ATK-Studie
6. Förderprogramm

Licht begleitet uns im Alltag



Energie- effizienz

Glühlampenverbot/
ErP/Labelling

OLED

LED

EnEV

Lichtmanagement

**Biologische
Wirkung**

**Normen/
Standards**

- Der Strombedarf der Beleuchtung in Deutschland beträgt nach Angaben der AG Energiebilanzen 16%.
- Durch neue Beleuchtungstechnologie kann über 80% an Energie eingespart werden.
- Nach Schätzungen des UBA können bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 2008 ca. 33.7 TWh (entspricht 18 Mio. t CO₂) für Beleuchtung eingespart werden. Dies wäre bereits heute durch Einsatz der verfügbaren Technologien erreichbar. Damit würde sich sofort die Leistung von drei Kernkraftwerken einsparen lassen.

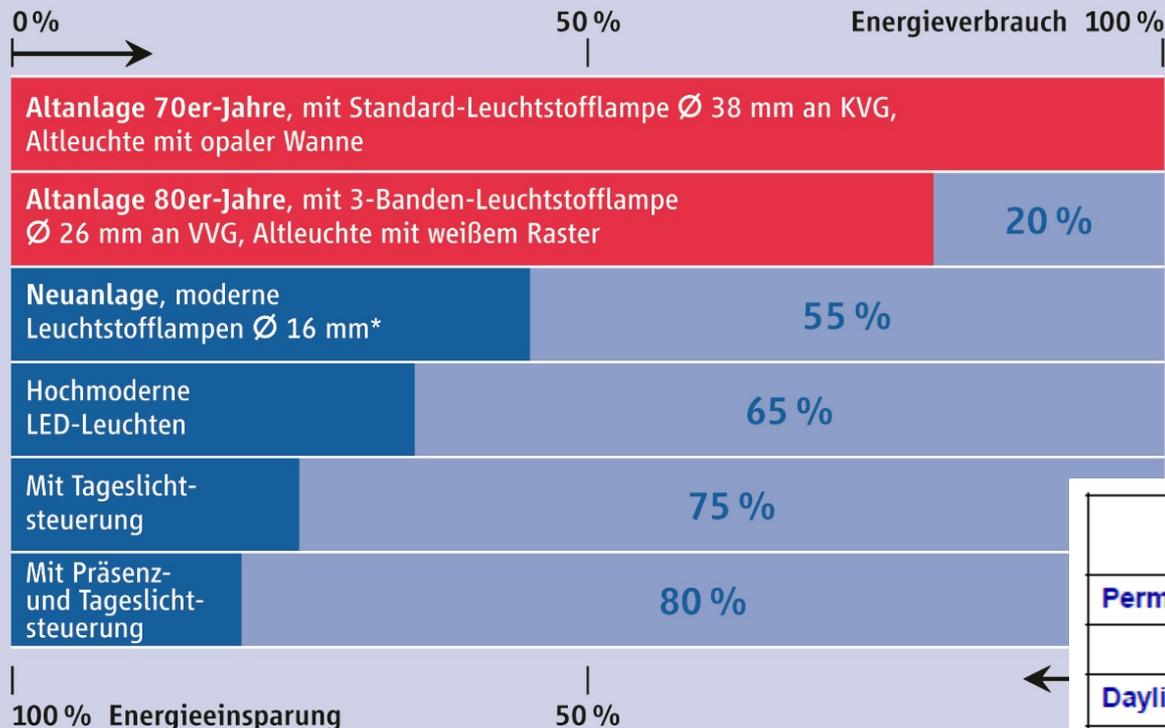
- Gebäude
 - 40 % Endenergieverbrauch
 - 33% CO₂-Emissionen entfallen auf Gebäude
 - 75% älter als 30 Jahre
 - „Nichtwohngebäude“ – Beleuchtung:
 - 75% ist älter als 25 Jahre
 - 85% ohne intelligente Lichtsteuerung
 - 80% ohne Lichtplanung errichtet
 - Renovationsquote zwischen 3 – 5 %



→ Für die Erreichung der ehrgeizigen europäischen und deutschen Effizienzziele bis 2020 sowie 2030 ist der breite Einsatz von LED unabdingbar.

Einsparpotenzial Innenbeleuchtung

Sparpotenziale Innenbeleuchtung



* Leuchtstofflampe an EVG mit sehr geringer Verlustleistung, energieeffiziente direkt oder direkt/indirekt strahlende Leuchten mit moderner Lichtlenktechnik.

	Saving potential	Penetration indoor
Permanent (on-off)	0 %	97 %
Daylight linking 	20-40 %	< 8 %
Presence detection 	15-30 %	< 8 %
Time management 	5-15 %	< 4 %
Constant illuminance level	10-25 %	< 3 %

Anteil Beleuchtung am Strombedarf

Einzelhandel Textil	bis 80 %
Lager	60 – 80 %
Büro- und Verwaltung	30 – 50 %
Schulen	30 – 50 %
Hotel	30 – 40 %
Krankenhäuser	20 – 30 %
Einzelhandel Lebensmittel	bis 25 %
Fabriken	bis 15 %
Wohnhäuser	bis 10 %

LEDs: Eine neue Qualität in der Beleuchtung



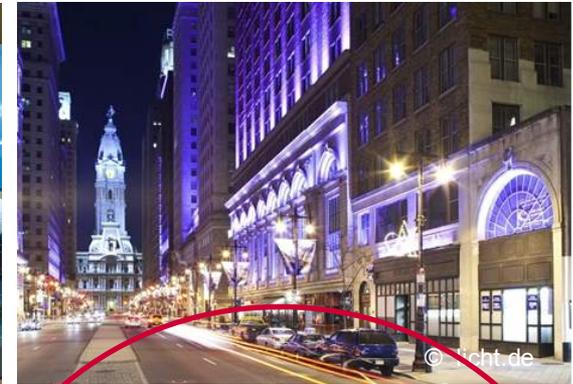
Optimale Lichtgestaltung

- Hohe Farbsättigung
- Kompakte Bauformen
- Dynamische Steuerung
- Gute Farbwiedergabe



Überzeugende Technologie

- Stoß- und vibrationsfest
- Keine Infrarotstrahlung
- Stufenlos dimmbar
- Umweltfreundlich

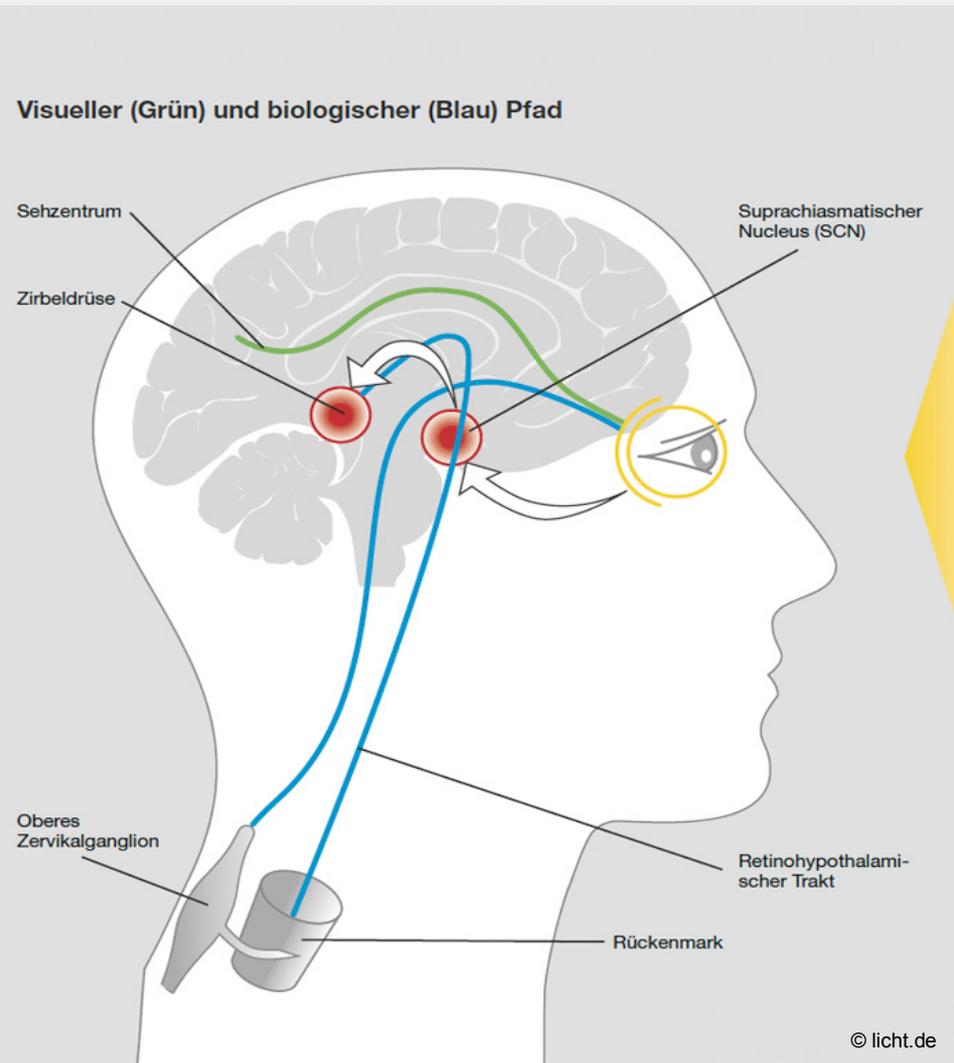


Beste Wirtschaftlichkeit

- Hohe Effizienz
- Lange Lebensdauer
- Geringerer Wartungsaufwand

© licht.de

3. HCL- Licht für den Menschen



Dreifache Wirkung

- 1 Visuelle Funktionen (das Sehen)
- 2 Emotionale Qualität
- 3 Biologische Impulse (stellt die „innere Uhr“)

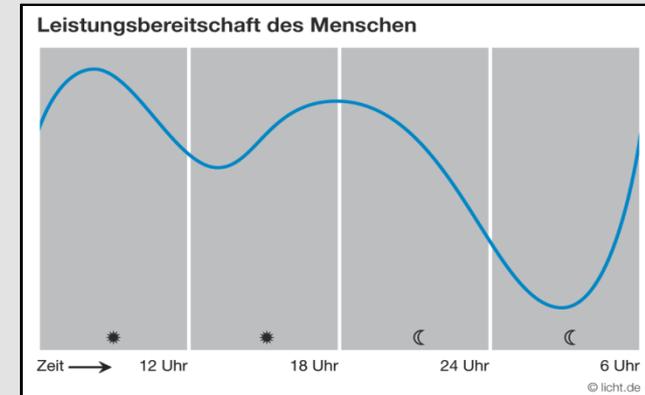
„Innere Uhr“ (circadianes System)

- ... ist genetisch verinnerlicht
- ... steuert Schlaf- und Wachphasen, Körperfunktionen und Stimmung

→ **Licht taktet die innere Uhr.**

Leistungskurven des Menschen

Leistungskurve des Menschen im Tagesverlauf: Morgens gegen 10 Uhr sind Körper und Geist am effektivsten.



Circadianer Rhythmus (etwa 24 Stunden)

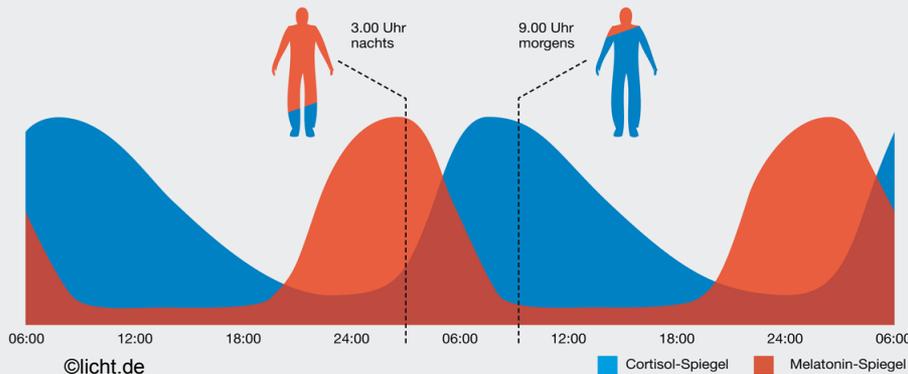
- Morgens steigt die Leistungskurve stark an,
- mittags flacht sie ab,
- nachts erreicht der Organismus seinen Tiefpunkt.

Infradianer Rhythmus (Jahreszeit): In den Wintermonaten ist der Mensch z. B.

- weniger fit,
- oftmals auch niedergeschlagen.
- Hält getrübbte Stimmung an, droht saisonal abhängige Depression (SAD).

Hormone: Botenstoffe der inneren Uhr

Der Einfluss des Tageslichts auf den menschlichen Körper



Am Abend ohne Lichtreiz

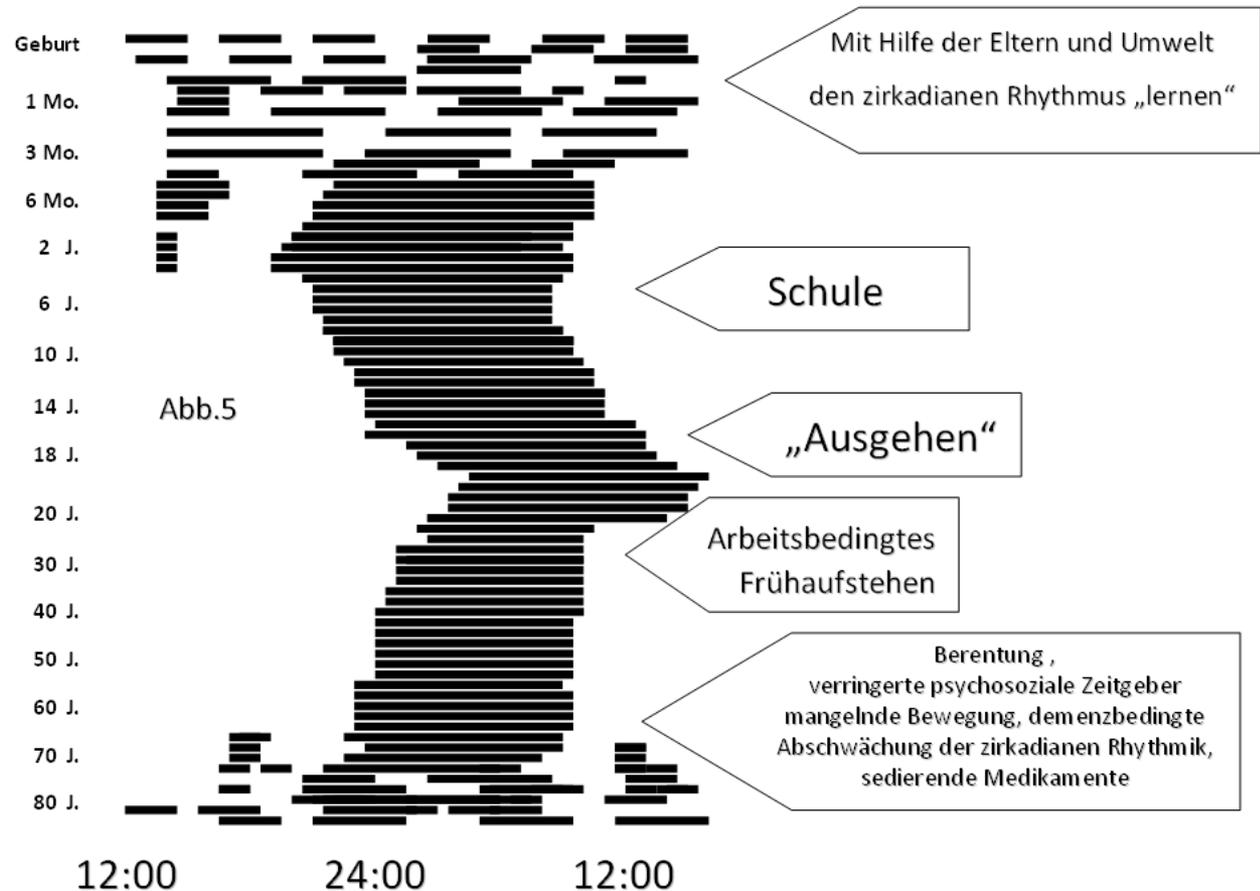
- produziert der Körper Melatonin (Schlafhormon), der Mensch ermüdet
- gegen Morgen sinkt der Melatoninspiegel

Tageslicht am Morgen

- steigert die Produktion des „Stresshormons“ Cortisol – der Mensch ist wach und konzentriert
- stimuliert die Bildung des Stimmungsaufhellers Serotonin – der Mensch ist fit und leistungsfähig

Änderungen im Rhythmus im Verlauf des Lebens

- **In der Jugend**
- Der circadiane Rhythmus verschiebt sich mit zunehmendem Alter
- Im Schüleralter verstärkt sich der Trend zur „Eule“
- Besonders kritisch: Phase nach der Zeitumstellung
- **Schlechtere Leistungen**



4. Dynamisches Licht in der Schule

Feldversuch: Schulklasse, 3 Lichtprogramme, Konzentrations-, Leistungs- und Verhaltenstests, 10 Monate

Lichtprogramm 1:

- Morgens „Aktivieren“ 12.000 Kelvin Farbtemperatur mit 650 Lux Beleuchtungsstärke

Lichtprogramm 2:

- 6.000 Kelvin unterstützen mit 1.000 Lux „Konzentriertes Arbeiten“

Lichtprogramm 3:

- 2.700 Kelvin und 300 Lux „Beruhigen“

Ergebnis:

- ❶ Fehlerquote sinkt um 45 %
- ❷ Leseverständnis / -geschwindigkeit steigen um 30 %
- ❸ Motorische Unruhe sinkt in 8 Minuten um 75 %



Zielstellung

Hypothesen:

- Chronobiologisch verbesserte Schulbeleuchtung verbessert die geistige Leistungsfähigkeit.
- Das Lichtkonzept aktiviert besonders die Spättypen am Morgen und bewirkt höhere Aufmerksamkeit.

Partner



Keis, O., H. Helbig, et al. (2014). "Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance." Trends in Neuroscience and Education 3: 86-92

Konzept



Referenz =
Standardbeleuchtung

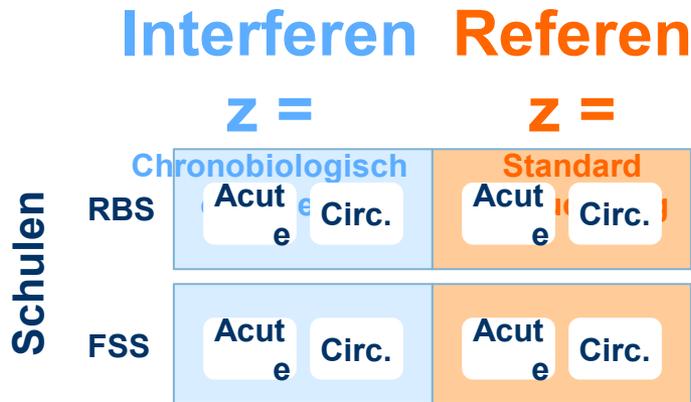


Interferenz =
Chronobiologisch
optimiert

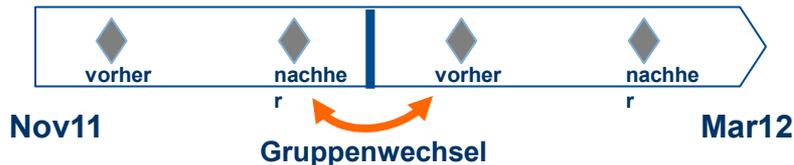
Intraindividuellem vorher/nachher Vergleich akuter und circadianer Effekte

Studiendesign

- Gruppen:



- Cross-over



Instrumente

- Aufmerksamkeitstest (d2)
- Kognitive Leistungsgeschwindigkeit (ZVT)
- Merkfähigkeitstest (VVM)
- Stimmungsfragebogen
- Auditive Vigilanz, 2-back
- Schlaftagebuch
- MCTQ Chronotypenfragebogen
- Kontrollen (Sichtigkeit etc.)



Anpassungen in Spektrum und Lichtverteilung, nicht Beleuchtungsstärke

Referenz

- Neutralweiße Leuchtstofflampen (4000 K)
- Standard Leuchten (Pendel oder Einbau)
- 700 lx horizontal, 300 lx vertikal



Intervention

- LED Leuchten: 4000 K direkt; bei indirekter Beleuchtung (blau) → gesamt 5500 K
- Standard Leuchten “upgrade” mit LED Modulen
- 700 lx horizontal, 300 lx vertikal

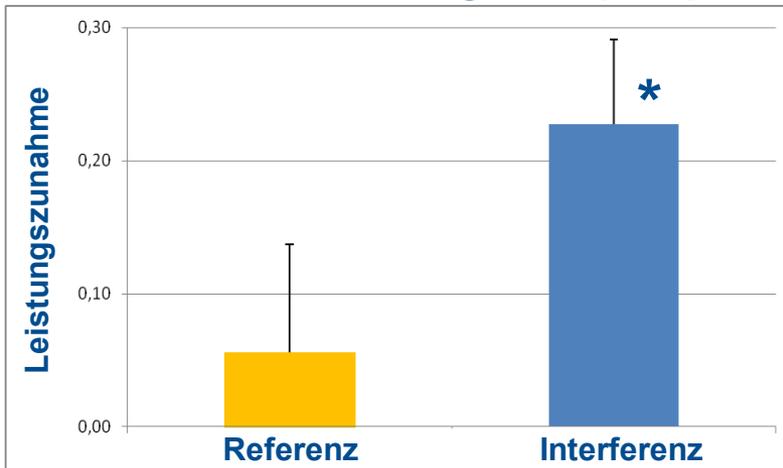


Aufmerksamkeit und Leistungen gesteigert nach kurz- oder mittellanger Einwirkzeit des chronobiologisch verbesserten Lichts

Visuo-motorische Leistung

- * **Schnellere Ausführung der Aufgabe im Vergleich zur Referenz**

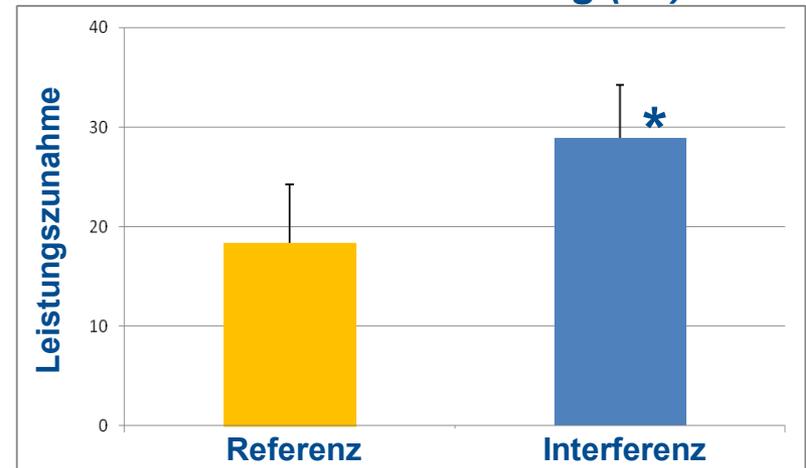
Zunahme der Leistungsgeschwindigkeit im Zahlenverbindungstest (ZVT)



Aufmerksamkeit

- * **Verbesserungen in der Gesamtleistung (Konzentrationsleistung)**
- * **Niedrigere Fehlerrate**

Zunahme in der Konzentrationsleistung (d2)



Schulstudie Ulm: Ergebnisübersicht

	Phase 1	Phase 2
Leistung <ul style="list-style-type: none"> d2 Geschwindigkeit d2 Fehlerrate d2 Konzentrationsleistung ZVT VVM_Route_visuell VVM_Konstruktion_verbal Computer aud. richtig Computer vis. richtig 	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: green; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: green; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: green; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, green 2px, green 4px); width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, green 2px, green 4px); width: 40px; height: 20px;"></div> </div>
Wohlbefinden <ul style="list-style-type: none"> Neg. Gefühl Pos. Gefühl Interesse Exzitation/Agitation Wachheit 	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: green; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div>
Circadianer Rhythmus <ul style="list-style-type: none"> Chrono-Fragebogen Schlaftagebuch 	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px;"></div> </div>
Akzeptanz <ul style="list-style-type: none"> Lichtfragebogen 	<i>“Es macht mich wach“</i>	

signifikant
 n.s.
 signifikant entgegen dem Ziel

- **Studien zeigen eine konsistente Verbesserung bei Aufmerksamkeitsleistungen und Reduktion von Fehlerraten bis zu 20 %**
- **Die Effekte sind vergleichbar denen von besserer Tageslichtversorgung**
- **Morgendliche Müdigkeit und Schlafdefizite können vermutlich deutlich reduziert werden**
- **Optionen für die Reduktion von Kosten für die Folgen von Krankheiten können vermutlich signifikant reduziert werden**

5. ZVEI, LightingEurope und AT.Kearney = zwei Studien zu HCL

- Vor ca. 2 Jahren haben der deutsche und europäische Verband der Lichtindustrie mit dem internationalen Beratungsunternehmen AT.Kearney eine Studie zur Marktentwicklung von Human Centric Lighting angefertigt und veröffentlicht: „Human Centric Lighting – Going beyond Energy Efficiency“.
- Die Reaktion vieler Interessierter war: „Was bringt mir das als Investor, Betreiber...?“, „was bringt das der Allgemeinheit in Deutschland und Europa?“
- Diese Fragen haben ausgelöst, dass sich dieselben Partner mit einer 2. Studie „Quantified Benefits of Human Centric Lighting“ befasst haben. Diese ist nun veröffentlicht.



“Human Centric Lighting”

Überblick Studie 2

- Human Centric Lighting ist die gemeinsame Berücksichtigung visueller und nichtvisueller (biologischer) Bedürfnisse des Menschen bei der Gestaltung von Beleuchtungsanlagen.



- Die Studie hatte das Ziel, die wirtschaftlichen Vorteile auf „Mikro-Ebene (Level)“ (betriebswirtschaftlich) und „Makro-Ebene (Level)“ (volkswirtschaftlich) aufzuzeigen und quantitativ zu evaluieren. Das Ergebnis sind viele Argumente, die für eine Anwendung von HCL aus Endanwender- und Investorensicht sowie aus gesamtgesellschaftlicher Sicht sprechen.

ATK unterscheidet sieben Innenbeleuchtungssegmente für die weiteren Analysen (Abb. Aus Studie 2)



- sich wiederholende manuelle Arbeit, z.B. Akkordarbeit mit wenig bis keiner Automatisierung
- Fokus auf Tagschichten



- anspruchsvolle Handarbeit mit wenig bis etwas Automatisierung, z.B. Werkzeugbau
- Fokus auf Tagschichten



- Büroarbeit in zweckbestimmten Gebäuden
- ohne Homeoffice



- Klassenräume in Grund- (6-12 Jahre) und Oberschulen (12-18 Jahre)
- Fokus auf Schüler (und Lehrer)



- Krankenhäuser, im Besonderen Flure, Erholungsbereich und Krankenstationen
- Fokus auf Patienten (und medizinische Beschäftigte)



- Pflegeheime für ältere Menschen mit und ohne Behinderung
- Fokus auf ältere Menschen (und Belegschaft)



- eigene und gemietete Wohnungen und Häuser
- alle Einkommensgruppen
- umfasst Homeoffices

ATK simuliert segmentspezifisch die wirtschaftlichen Vorteile auf Mikro- (betriebswirtschaftlich) und Makro-Ebene (volkswirtschaftlich)

Modellübersicht:

Eingangsgroßen

- **Förderliche nicht-visuelle Effekte auf:**
 - Aktivierung,
 - Aufmerksamkeit,
 - kognitive Leistung,
 - circadiane Stabilität,
 - Schlafqualität,
 - Stimmung,
 - Entspannung,
- **zusätzlich z.B.:**
 - Arbeitskosten,
 - typische Fehlerquoten,
 - Investitionen,
 - laufende Kosten

Berechnungsmodell

Mikro-Modell

- aus Sicht individueller Investoren z.B. Eigner von Betrieben
- basiert auf Anwendungsfällen mit nachvollziehbaren Werten

Makro-Modell

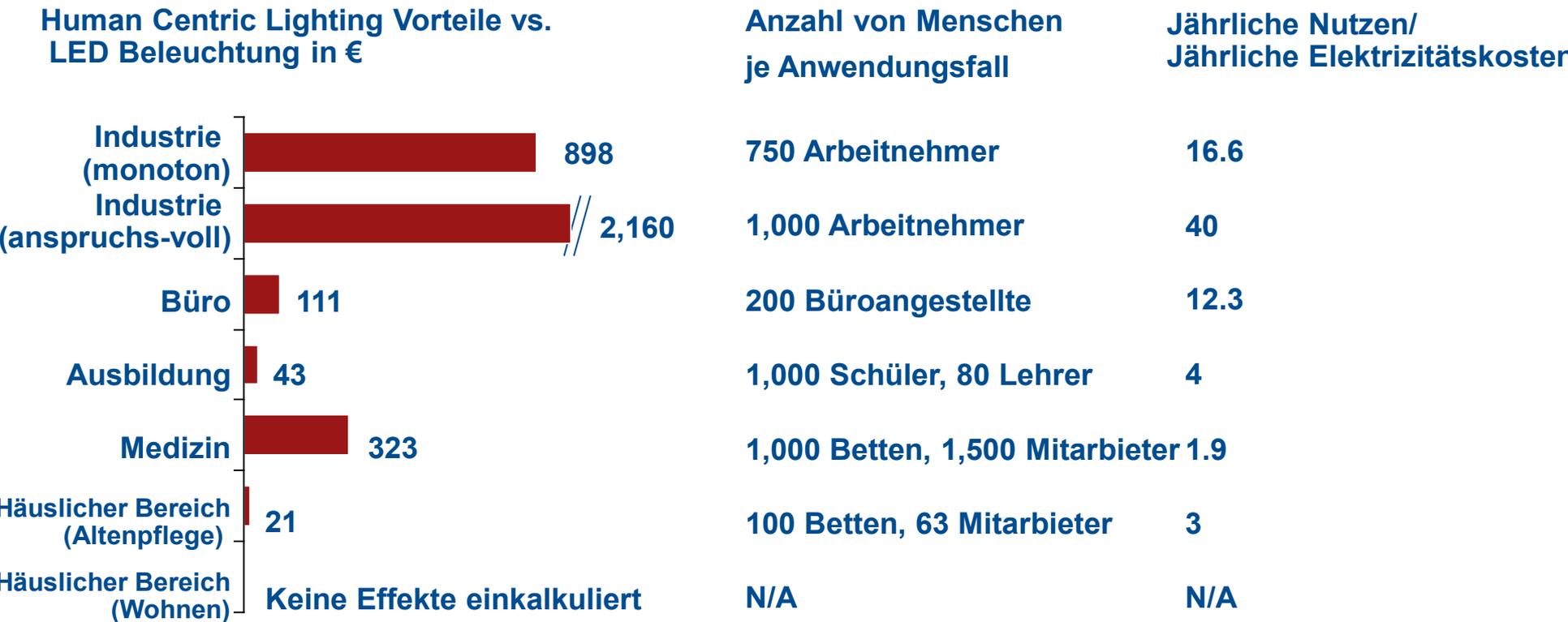
- aus Sicht der gesamten Öffentlichkeit, z.B. der Versicherungsbranche
- hochgerechnet auf die Marktgröße im Jahr 2020 gemäß der 1. Studie sowie bei voller Marktdurchdringung

Ergebnisse nach Anwendungssegmenten:

- Beschreibung der Anwendungsfälle
- wichtigste Verkaufsargumente einschließlich der hauptsächlichsten Treiber (z.B. Fehlerquoten, Produktivität),
- Vorteile auf Mikro-Ebene,
- Vorteile auf Makro-Ebene,
- wichtigste Annahmen

Auf Mikro-Ebene werden die höchsten Nutzeffekte von HCL in den Industriesegumenten realisiert (Abb. aus Studie 2)

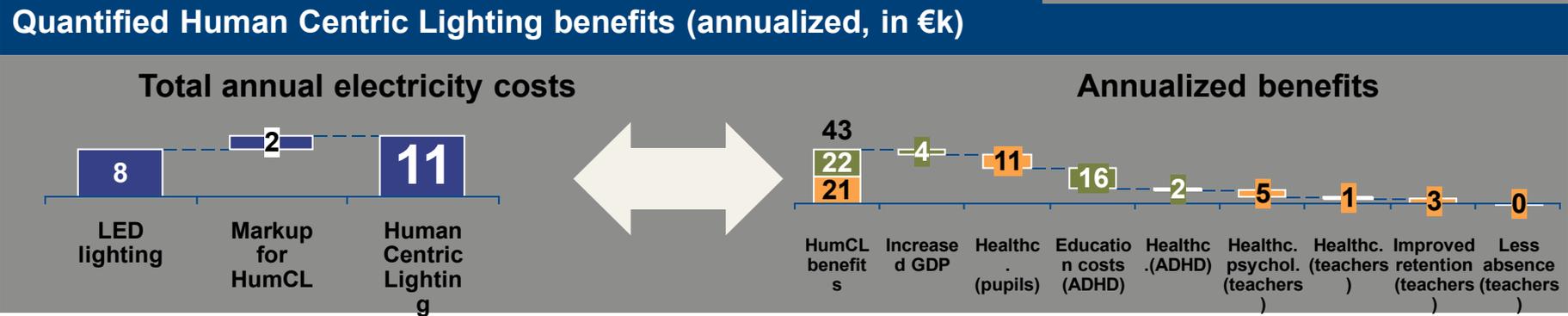
Mikro-Ebene Vorteile von HCL – Die Basis der Annahmen bedarf weiterer Forschung



In the educational segment, public cost savings for ADHD and healthcare of normal students are the main benefits

Education – Micro level effect

Highly sensitive to assumptions¹



Description of use case and key assumptions

- School with 1000 students and 80 teachers
- € 2780 average monthly labor cost per teacher
- 5.3% of pupils suffering of ADHD, thereof only 50% treated medically
- 11.7 sick days per teacher, thereof 25% due to mental disorders (stress, burnout, etc.)
- Public extra educational costs per ADHD pupil: € 6,000

Reasoning for benefits

- GDP increase due to 15% improved cognitive performance of affected pupils²
- 10% reduced healthcare and education costs due to less ADHD effects
- 18% improved treatment efficacy for mental disorders
- + 2 years duration of employees staying

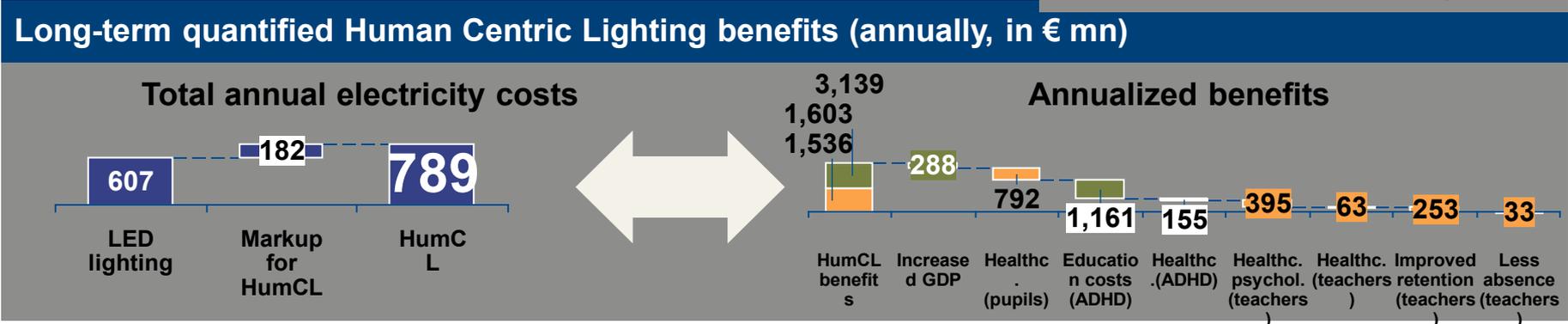
■ Annual electricity costs ■ Scientifically confirmed benefit ■ Expected benefit

1. Benefits highly sensitive to underlying assumptions, some of them needing further research, 2. Effect broken down to single school from macro model. Too small to be quantified as a share of total European GDP
 Source: A.T. Kearney simulation model incl. detailed source references

In the educational segment, public cost savings for ADHD and healthcare of normal pupils are the main benefits

Educational – Macro level effect

Highly sensitive to assumptions¹



Description of use case and key assumptions

- 100% of European pupils and teachers exposed to Human Centric Lighting solutions²
- € 2,780 average monthly labor cost per teacher
- 5.3% of pupils suffering of ADHD, thereof only 50% treated medically
- 11.7 sick days per teacher, thereof 25% due to mental disorders (stress, burnout, etc.)
- Public extra educational costs per ADHD pupil: € 6,000

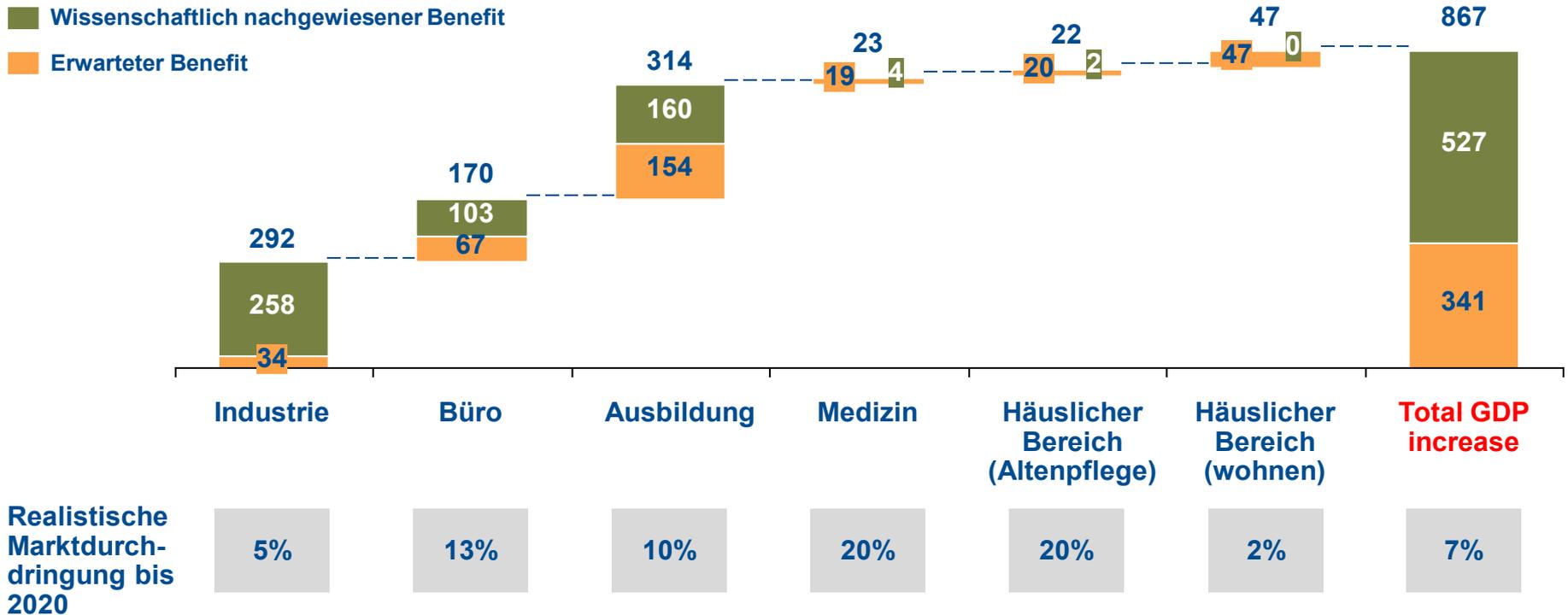
Reasoning for benefits

- 0.1% GDP increase due to 15% improved cognitive performance of affected pupils
- 10% reduced healthcare and education costs due to less ADHD effects
- 18% improved treatment efficacy for mental disorders
- + 2 years duration of employees staying

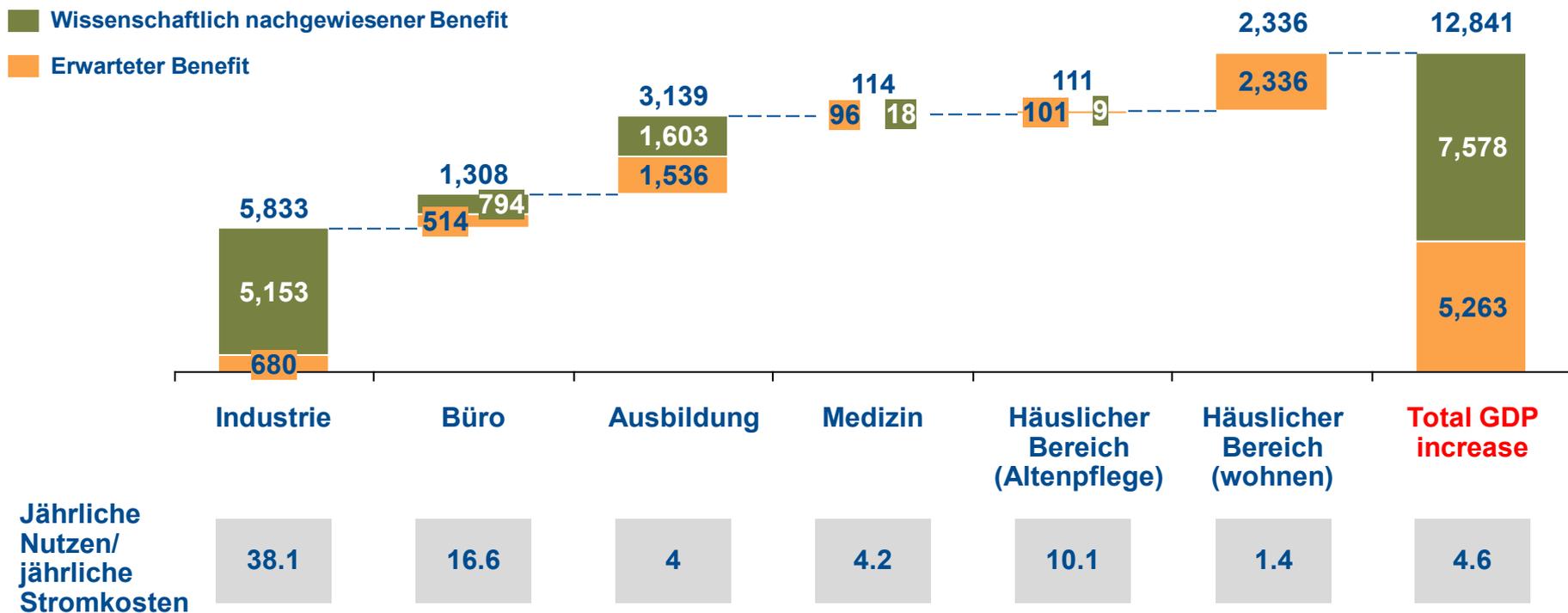
■ Annual electricity costs ■ Scientifically confirmed benefit ■ Expected benefit

1. Benefits highly sensitive to underlying assumptions, some of them needing further research, 2. Different from other macro cases, where the potential based on 2020 market size is shown. For educational the full long-term cumulative potential is shown. Source: A.T. Kearney simulation model incl. detailed source references

Bei realistischer Marktdurchdringung in 2020 bringen Macro-Ebene Hochrechnungen für HCL Effekte bis zu 0,87 Mrd. € in Europa (Abb. Aus Studie 2)



Bei voller Marktdurchdringung bringen Macro-Ebene Hochrechnungen für HCL Effekte bis zu € 12,8 Mrd. in Europa (Abb. Aus Studie 2)



“Quantified Benefits of Human Centric Lighting”

Ergebnis der Studie 2

- **Auf Mikro-Ebene (Sicht des einzelnen Investors)**
 - Die signifikant am höchsten bewerteten Vorteile sind im Segment Industrie zu realisieren, dies durch den dominierenden Einfluss der Produktivitätserhöhung.
 - In den meisten Segmenten überwiegen die Vorteile für Besitzer und Investoren.

- **Auf Makro-Ebene (Sicht der Allgemeinheit)**
 - Macro-Ebene Hochrechnungen ergeben für Human Centric Lighting für Europa in 2020 Vorteile von bis zu € 0.87 Mrd. bei der Annahme einer realistischen Marktdurchdringung und € 12,8 Mrd. bei totaler Marktdurchdringung.
 - Zusätzliche soziale und öffentliche Vorteile rechtfertigen die Mehraufwendungen für HCL

- **...und erfordern weitere Studien, um verschiedene erwartete Vorteile in wissenschaftlich bewiesene Vorteile zu überführen**

- **Perspektivisch könnten 12,8 Mrd. € durch Einsatz von HCL eingespart werden und die Gesellschaft würde entsprechend weniger finanziell belastet.**

6. Novellierung der Kommunalrichtlinie für 2015 + 2016 – Förderung für Kommunale Beleuchtung mit LED (Innenbeleuchtung und Außenbeleuchtung)

- Bei der Sanierung von Innen- und Hallenbeleuchtung mit LED in Verbindung mit einer Steuerungs- und Regelungstechnologie können 30% Förderung gewährt werden bei einer CO2 Minderung von mindestens 50%.
- Kommunen, die nicht über ausreichende Eigenmittel verfügen oder Einrichtungen wie Kindertagesstätten, **Schulen**, Jugendfreizeitstätten, Sportstätten und Schwimmhallen sanieren, können eine erhöhte Förderquote beantragen. Hierfür steigt die Förderquote auf 37,5%.
- Anträge können beim PTJ gestellt werden

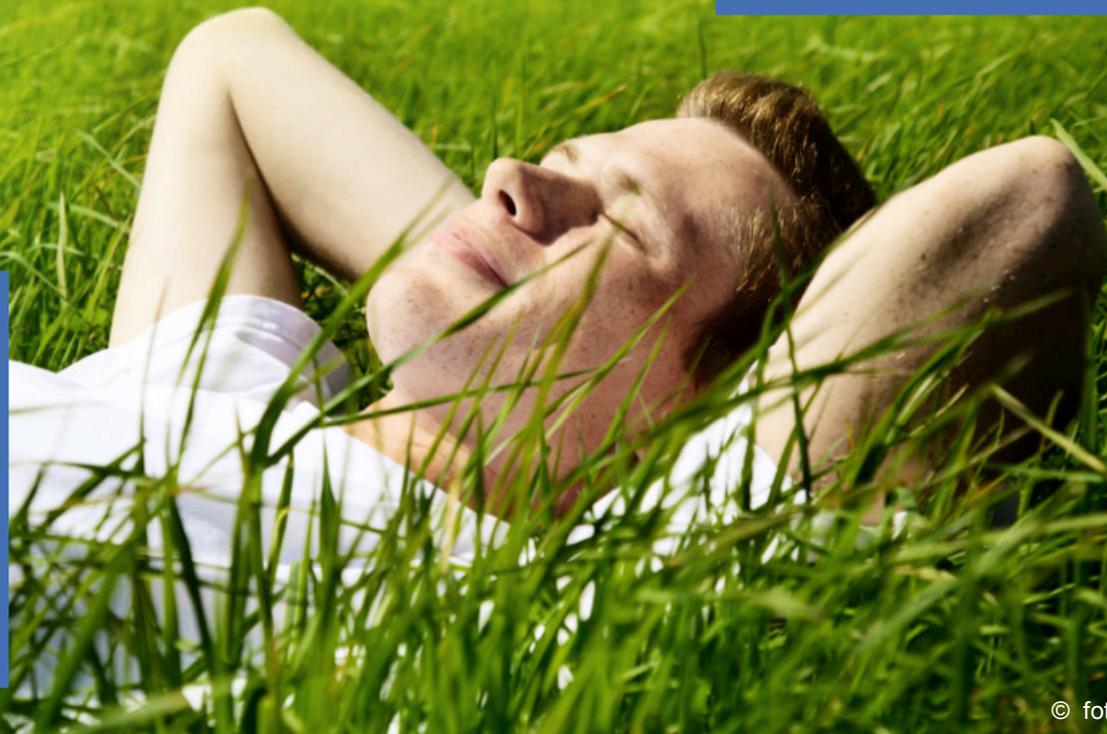
Über 80 % aller Informationen erfasst der Mensch mit seinen Augen.

Gutes Licht...

- gibt Sicherheit und Sehkomfort
- fördert Leistungskraft
- akzentuiert Architektur
- stärkt das Wohlbefinden

Intelligentes Licht

- ist mehr als Sehen..
- Intelligentes Licht stärkt unseren circadianen Rhythmus...



© fotolia.com: Iakov Kalinin

6. Weiterführende Informationen

www.zvei.org

www.licht.de

