

Strassenbeleuchtung mit konventionellen Lichtquellen und LEDs im Vergleich

Autor(en): **Khanh, Tran Quoc / Schiller, Christoph / Kuhn, Thomas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **100 (2009)**

Heft 9

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-856408>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Strassenbeleuchtung mit konventionellen Lichtquellen und LEDs im Vergleich

Lichttechnischer Praxisbericht einer wissenschaftlich begleiteten Teststrasse in Darmstadt

In den meisten europäischen Ländern wird zurzeit eine intensive Diskussion über den Klimawandel, die globale Erwärmung und die Lösungsansätze zur Verminderung der CO₂-Emissionen geführt. Grosse Potenziale zur Energieeinsparung werden in der Innenraumbelichtung, in der automobilen Lichttechnik und in der Aussenbeleuchtung gesehen.

In Deutschland gibt es 9,1 Mio. Strassenleuchten, von denen mehr als ein Drittel älter als 30 Jahre sind und veraltete ineffiziente Lichttechnologien verwenden. Etwa 35–40% aller Leuchten werden noch mit Quecksilberdampfampfen betrieben. Diese erhalten ab 2015 infolge ihrer schlechten

Tran Quoc Khanh, Christoph Schiller, Thomas Kuhn, Marvin Böll

Lichtausbeute im Bereich der Europäischen Union kein CE-Zeichen mehr und dürfen deshalb nicht mehr vertrieben werden. Die Potenziale zur Einsparung liegen bei ca. 200 Mio. €/Jahr für die Kommunen [1].

Laut einer Studie der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz im Auftrag des WWF hat die Mehrzahl der Kantonshauptstädte in der Schweiz einen im Vergleich zu anderen europäischen Ländern sehr hohen jährlichen Energieverbrauch pro Kilometer beleuchteter Strasse [2]. Bild 1 zeigt, dass die Werte des Energieverbrauchs von einer energiesparsamen Stadt wie St. Gallen

(8 MWh/km/Jahr) und einer Stadt wie Genf (37 MWh/km/Jahr) um den Faktor 4–5 auseinanderliegen. Diese Bilanzen sind höchstbedenklich, da die meisten technischen Leuchten für die Beleuchtungskategorie S4, die am deutschen Bundeswettbewerb «Energieeffiziente Stadtbeleuchtung» im Herbst 2008 teilgenommen haben, einen Energieverbrauch zwischen 2,5 MWh/km/Jahr und 7,8 MWh/km/Jahr aufweisen [3]. Der von der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz empfohlene Richtwert liegt hingegen bei 8 MWh/km/Jahr für kleinere Gemeinden und bei 12 MWh/km/Jahr für grössere Städte. Das theoretische Einsparpotenzial liegt bei 50%, was 400 Mio. kWh und etwa 80 Mio. CHF/Jahr entspricht.

Auf der Suche nach Lösungsansätzen zur Energieeinsparung müssen die meisten europäischen Länder eine Reihe von Fragestellungen beantworten:

■ Welche Lampentechnologien sollte man anwenden? Ist die Natriumdampfhochdrucklampe wegen der schlechten

Farbwiedergabe für eine attraktive und verkehrssichere Beleuchtung einer modernen Stadt im 21. Jahrhundert optimal? Ist die Halogenmetaldampfampe mit einer Lebensdauer von 12 000 h bzw. 3 Jahren ökonomisch vertretbar?

■ Wie hoch ist das zusätzliche Einsparpotenzial, wenn eine moderne Reflektoroptik und elektronische Vorschaltgeräte verwendet werden?

■ Inwieweit ist die heutige LED-Technologie für eine energieeffiziente Strassenbeleuchtung anwendbar? Ist das weisse Licht von LED-Leuchten bezüglich der Farbwiedergabe, der Detektierbarkeit von Objekten und der Akzeptanz in der Wahrnehmung das Licht der Zukunft?

Um diese Fragen praxisnah und konkret beantworten zu können, befasste sich das Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Darmstadt (Deutschland) in einem Feldtest auf einer Teststrasse mit dem Vergleich der verschiedenen Technologien. Nachfolgend werden ausgewählte Teile der gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassend beschrieben.

Teststrasse: lichttechnische Ausführungen und Testergebnisse

Die verwendete Teststrecke ist eine gerade Anliegerstrasse mit einer Länge von ungefähr 500 m und besteht aus 4 lichttechnischen Teilabschnitten. Bild 2 zeigt einen Ausschnitt der Teststrasse nach der Umrüstung. Rechts im Bild ist noch eine Leuchte mit einer Quecksilberdampfhochdrucklampe zu sehen (Abschnitt 1). Weiter links folgen 2 Abschnitte mit unterschiedlichen Natriumdampfhochdrucklampen, und ganz hinten im Bild ist in Weiss die LED-Beleuchtung zu erkennen (Abschnitt 4). Nach einer Analyse der Verkehrssituation und der weiteren relevanten Parameter vor Ort wurde die Strasse gemäss DIN EN 13201 auf die Beleuchtungskategorie S4 (mittlere Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn 5 lx) eingestuft. Tabelle I zeigt die S-Beleuchtungsklassen sowie die erforderlichen Beleuchtungsstärken gemäss DIN EN 13201 in einem Überblick.

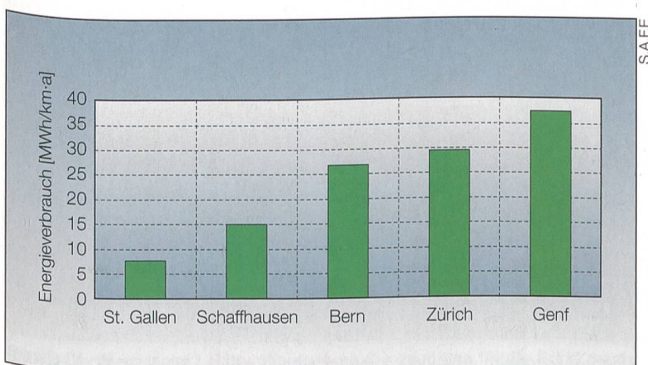


Bild 1 Energieverbrauch der Strassenbeleuchtung von einigen Kantonsstädten in der Schweiz.

Die 4 Teilabschnitte haben nach Tabelle II eine voneinander leicht unterschiedliche Geometrie. Im Urzustand wurde die Strasse mit 11 Jahre alten Kofferleuchten beleuchtet, die mit 80-W-Quecksilberdampfhochdrucklampen bestückt waren. Diese Beleuchtung erfüllte nur die Beleuchtungskategorie S6 (mittlere Beleuchtungsstärke 3 lx).

Für die Tests und zur Erfüllung der Beleuchtungskategorie S4 wurden für die 4 Teilabschnitte unterschiedliche Beleuchtungstechnologien verwendet, deren Reihenfolge und Bedeutung der heutigen üblichen Praxis der Modernisierung in der Strassenbeleuchtungstechnik entsprechen:

■ 1. Teilabschnitt: Alte Kofferleuchten mit HQL (Quecksilberdampfhochdrucklampen) 125 W und KVG (konventionelles induktives Vorschaltgerät).

■ 2. Teilabschnitt: Alte Kofferleuchten, Natriumdampfhochdrucklampe SON-H 68 W (Austauschleuchtmittel) und KVG.

■ 3. Teilabschnitt: Neue Leuchte nach dem Stand der Technik mit neuer Optik, mit HST-Lampe 70 W (Natriumdampfhochdruck) und EVG (dimmbares elektronisches Vorschaltgerät).

■ 4. Teilabschnitt: LED-Leuchten Typ DL-10, dimmbare Elektronik.

Alle verwendeten Strassenleuchten wurden sowohl vor der Umrüstung (Urzustand) als auch nach der Umrüstung im Labor mit einem Goniometer auf ihre lichttechnischen und elektrischen Parameter vermessen. Die Ergebnisse zeigt Tabelle III.

Aus Tabelle III ist ersichtlich, dass ein Wechsel von einer unsauberen Leuchte mit einer alten HQL-Lampe 80 W zu einer geputzten Leuchte und einer neuen HQL-Lampe eine Steigerung des Lichtstroms und der Lichtausbeute um Faktor 2 mit sich bringt. Ein Vertreter vom Stand der Technik mit konventioneller Beleuchtungstechnologie (Typ SR50 für den 3. Teilabschnitt) liefert mit einer Freiformoptik und einem elektronischen Vorschaltgerät (EVG) eine Effizienz von 69,6 lm/W. Die entspricht etwa dem Faktor 3 gegenüber der Effizienz der geputzten Kofferleuchte mit einer sauberen HQL-Lampe von 24,2 lm/W. Die DL10-Leuchte (vgl. Bild 3) mit LED-Technologie liefert eine Effizienz von 48 lm/W. Nach der Installation der jeweiligen Leuchten in den 4 Teilabschnitten wurden die Beleuchtungsstärke auf der jeweiligen Fahrbahn sowie die elektrische Leistung der Leuchten im jeweiligen Abschnitt gemessen. Da die 4 Teilabschnitte leicht unterschiedliche Geometrien haben (Tabelle II), werden die messtechnischen Ergebnisse auf die gleiche Geometrie aller 4 Teilabschnitte rechnerisch korrigiert. Tabelle IV zeigt den zusammenfassenden Überblick.

Klasse	Horizontale Beleuchtungsstärke	
	\bar{E} in lx ¹⁾ [Wartungswert]	E_{min} in lx [Wartungswert]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	Unbestimmte Anforderung	Unbestimmte Anforderung

¹⁾ Um eine gewisse Gleichmässigkeit sicherzustellen, darf der tatsächliche Wert der mittleren Beleuchtungsstärke das 1,5-Fache des für die Klasse vorgesehenen Mindestwerts nicht überschreiten.

Tabelle I Übersicht über die S-Beleuchtungsklassen gemäss DIN EN 13201.

Teilabschnitt [Nr.]	Mastabstand [m]	Fahrbahnbreite [m]	Lichtpunkthöhe [m]	Lichtpunkt-Überhang [m]
1	35,13	6,7	6,3	-1,57
2	34,86	6,72	6	-1,26
3	34,59	6,73	6,14	0
4	29,3	6,5	ca. 6,14	-0,65

Tabelle II Geometrie der 4 Teilabschnitte der LED-Teststrasse in Darmstadt.

Wie Tabelle IV zeigt, ist für die Erzielung einer mittleren Fahrbahnbeleuchtungsstärke von 5,4 lx im ersten Teilabschnitt eine elektrische Gesamtleistungsaufnahme von 134,2 W je Lichtpunkt notwendig. Die eigentlich angestrebte Beleuchtungsstärke von 6,3 lx im Mittelwert konnte mit der Quecksilberdampfhochdrucklampe trotz des Lampentauschs von 80 auf 125 W nicht erzielt werden. Tauscht man die 125-W-HQL-Lampe gegen die SON-H-Lampe 68 W aus, werden für eine grössere mittlere Beleuchtungsstärke von 6,3 lx auf der Fahrbahn nur noch 80 W je Lichtpunkt benötigt. Man spart somit etwa 54,2 W und

216,8 kWh pro Leuchte und Jahr, was bei einem Strompreis von 15 ct etwa 32,5 €/Jahr entspricht.

Verwendet man eine moderne Leuchte mit einem elektronischen Vorschaltgerät und einer 70-W-HST-Lampe, braucht man nur noch etwa 60,8 W für die gleiche mittlere Beleuchtungsstärke von 6,3 lx. Das bedeutet eine Einsparung von etwa 20 W und 80 kWh pro Leuchte und Jahr, was bei einem Strompreis von 15 ct einer Einsparung von etwa 12 €/Jahr entspricht. Bei einem angenommenen Anschaffungspreis von 150 € je Leuchte entspricht das einer Amortisationszeit von etwa 12,5 Jahren.



Bild 2 Teststrecke in der Nacht (Ausschnitt), Abschnitte von links nach rechts LED, HST, SON-H, HME.

Zustand	Leuchte	Lampe	Lichtstrom der Leuchte [lm]	Leistung [W]	Effizienz [lm/W]
Urzustand	Verschmutzter Koffer, KVG	HRL 80 W (gebraucht)	1290	93,0	13,9
	Geputzter Koffer, KVG	HQL 80 W (neu)	2270	93,7	24,2
Teilabschnitt 1	Geputzter Koffer, KVG	HME 125 W	4040	145,7	27,7
Teilabschnitt 2	Geputzter Koffer, KVG	SON-H 68 W	3520	84,0	41,9
Teilabschnitt 3	SR50, EVG	HST 70 W	0-5520	0-79,3	69,6
Teilabschnitt 4	DL10, EVG	LED	0-5700	0-121	48

Tabelle III Ergebnisse der Vermessung der Leuchten im Labor.

Um eine mittlere Beleuchtungsstärke von 6,3 lx auf der Fahrbahn zu erreichen, ist bei der LED-Leuchte eine elektrische Leistung von 68 W notwendig. Für die Erfüllung der Beleuchtungskategorie S4 mit dieser LED-Strassenleuchte entspricht das einem jährlichen Energieverbrauch von 7,1 MWh/km/Jahr pro Kilometer beleuchteter Strasse bei 4100 Brennstunden im Jahr.

Wahrnehmungstest und Akzeptanz der Strassenbeleuchtung

Ein Wechsel von bisher verwendeten konventionellen Leuchtentechnologien zur LED-Technologie ist nur nachhaltig, wenn neben dem Aspekt der Energieeffizienz auch die stark subjektiv geprägten Faktoren der Wahrnehmung und Akzeptanz der verschiedenen Strassenbeleuchtungen berücksichtigt werden. Um diesen Faktoren Rechnung zu tragen, wurde die folgende Vorgehensweise gewählt:

■ Durchführung von Anwohnerbefragungen: Es wurden 660 Fragebögen an die unmittelbaren Anwohner der Versuchstrasse persönlich verteilt. Insgesamt wurden 40 auswertbare Fragebögen abgegeben.

■ Tests mit Testpersonen unter der Anleitung eines Versuchsleiters: Aus der Sicht von Fussgängerinnen und Fussgängern wurde die lichttechnische Qualität der Beleuchtung in den 4 Teilabschnitten beurteilt. Insgesamt 21 Testpersonen gingen in Gruppen langsam 2-mal durch die Strasse und füllten die Fragebögen für jeden Teilabschnitt aus.

■ Tests mit Testpersonen unter Anleitung eines Versuchsleiters: Aus der Sicht eines Autofahrers wurde die lichttechnische



Bild 3 LED-Leuchte DL10 in der Teststrasse.

Qualität der Beleuchtung in den 4 Teilabschnitten beurteilt. Ein Auto mit ausgeschaltetem Abblendlicht fuhr mit einer Geschwindigkeit von maximal 30 km/h 2-mal entlang der Strasse, und nach jedem Abschnitt füllten Fahrer und Beifahrer die Fragebögen aus. Insgesamt wurden 21 Autofahrer zur Bewertung herangezogen.

■ Tests zur Reaktionszeit, Farbwahrnehmung und Detektierbarkeit von Objekten unter dem Licht des jeweiligen Teilabschnitts. Diese Tests dauern bis zum August 2009 an und sind nicht Gegenstand dieses Artikels.

Die Fragebögen für die ersten 3 Kategorien sind im Prinzip ähnlich und be-

rücksichtigen folgende Wahrnehmungsaspekte:

1. Generelle Helligkeit auf der Fahrbahn
2. Erkennbarkeit von Bordsteinkanten
3. Erkennbarkeit von Hindernissen
4. Erkennbarkeit von Personen bzw. Testpersonen mit «Warnwesten»
5. «Gefühlte Sicherheit»
6. Farbwiedergabe
7. Farbe des Lichts
8. Ranking: Bester Abschnitt

Ein höherer Wert auf der Bewertungsskala entspricht einem besseren und positiveren Eindruck der bewertenden Testpersonen für den jeweiligen Parameter. Bild 4 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der befragten Fussgänger.

Bei der Betrachtung der gemittelten Werte fällt auf, dass die Bewertung des LED-Teilabschnitts für 6 der 7 Wahrnehmungsaspekte (Fragen des Fragebogens) aus Sicht der Testpersonen am besten ausfällt. In der Frage nach der Auffälligkeit der Testpersonen mit den Warnwesten (Frage 4) ist die Bewertung für das LED-Licht die zweitbeste. Statistisch gesehen ist der Unterschied zwischen dem LED-Abschnitt

Lampe	Mittlere Beleuchtungsstärke [lx]	Leistung der Leuchte [W]
HME 125 W, KVG	5,4	134,2
SON-H 68 W, KVG	6,3	80,0
HST 70 W, EVG	6,3	60,8
LED, EVG	6,3	68

Tabelle IV Elektrische Leistungsaufnahme der Leuchten für die Erfüllung der S4-Beleuchtungskategorie.

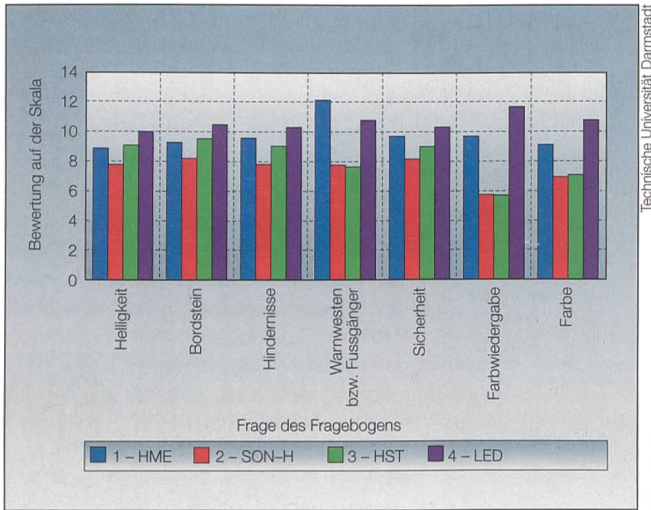


Bild 4 Bewertungen der Fussgänger für die 4 Teilabschnitte mittels Fragebogen.

und den anderen 3 Abschnitten in den Fragen 5, 6 und 7 (gefühlte Sicherheit, Farbwiedergabe und Farbvorzuzug) signifikant gross. In der Frage 4 (Auffälligkeit von Warnwesten) werden das weisse Licht der Quecksilberdampfhochdrucklampe (Teilabschnitt 1) und das Licht der LED-Leuchten sehr positiv bewertet.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Licht der LED-Leuchten die höchste Bewertung hinsichtlich der Wahrnehmungsaspekte hat. Zu berücksichtigen ist dabei die Tatsache, dass die für die Tests verwendeten LED-Leuchten mit LEDs aus der Zeit vom Herbst 2008 bestückt sind. Die derzeitige rasante Entwicklung der LED-Technologie lässt darauf schliessen, dass die Lichtausbeute aktueller LED-Generationen bis zum Sommer 2009 um etwa 10% ansteigen wird. Des-

halb ist davon auszugehen, dass man in der nächsten Zeit in den führenden europäischen und asiatischen Industrienationen (China, Japan, Taiwan) den Durchbruch einer nachhaltigen LED-Strassenbeleuchtung und somit einen neuen Meilenstein auf dem Weg zur Steigerung der Energieeffizienz in der Aussenbeleuchtung erleben wird.

Referenzen

- [1] ZDF, Frontal21, Fernsehbeitrag vom 25. Juni 2007.
- [2] Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E: Energieeffiziente Beleuchtung, Eine Analyse der Strassenbeleuchtung der Kantonshauptstädte, Studie im Auftrag des WWF, September 2006, http://assets.wwf.ch/downloads/2006_09_28_studie_strassenbeleuchtung_khs_korr_d.pdf.
- [3] Bundeswettbewerb Energieeffiziente Stadtbeleuchtung, erster Teil – Technikwettbewerb, 11. Februar 2009, http://www.bundeswettbewerb-stadtbeleuchtung.de/pdf_files/090211_SammlungStadtbeleuchtung.pdf.

Angaben zu den Autoren

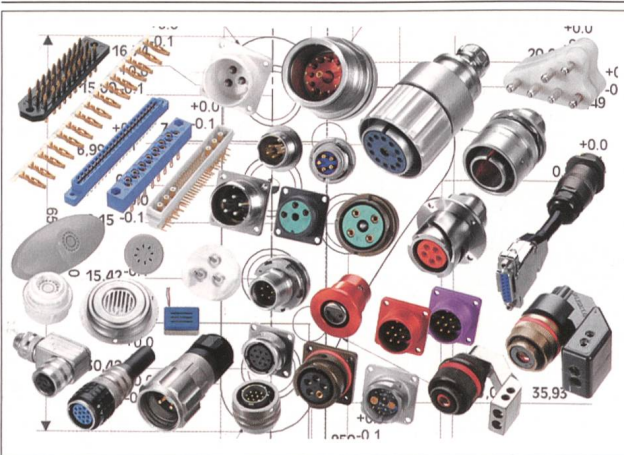
Prof. Dr. Ing. habil. *Tran Quoc Khanh* ist seit 2006 Professor an der Technischen Universität Darmstadt und Leiter des Fachgebiets Lichttechnik. Er hat langjährige Erfahrung in der optischen und lichtmesstechnischen Industrie sowie in der Anwendung von LEDs.
Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektromechanische Konstruktionen, DE-64289 Darmstadt, kxanh@lichttechnik.tu-darmstadt.de
 Dipl.-Wirtsch.-Ing. *Christoph Schiller*, Dipl.-Ing. *Thomas Kuhn* und Dipl.-Ing. *Marvin Böll* sind wissenschaftliche Mitarbeiter und Doktoranden an der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, mit dem Forschungsschwerpunkt Strassenbeleuchtung.
Technische Universität Darmstadt, Institut für Elektromechanische Konstruktionen, DE-64289 Darmstadt, schiller@lichttechnik.tu-darmstadt.de, kuhn@lichttechnik.tu-darmstadt.de, boell@lichttechnik.tu-darmstadt.de

fachbeiträge

Résumé

L'éclairage des routes au moyen de sources lumineuses conventionnelles et à LED en comparaison

Rapport de technique d'éclairage tiré de la pratique d'une route-test contrôlée scientifiquement à Darmstadt. Dans la plupart des pays européens, une discussion intense est en cours sur le changement climatique, le réchauffement global et les ébauches de solution destinées à réduire les émissions de CO₂. On envisage d'importants potentiels d'économie d'énergie dans l'éclairage des locaux intérieurs, la technique d'éclairage automobile et l'éclairage extérieur.



EMCT Swiss-ConnTec SA

POSTFACH 241, GRUBENSTR. 7a
 CH-3322 Urtenen-Schönbühl / Bern
 E-MAIL: info@emct.ch

TELEFON + 41 (0)31 859 34 94
 TELEFAX + 41 (0)31 859 20 17

Steckverbinder, MIL-C & Eigenfabrikation

Alarm / Schallgeber Steckverbinder Relais
 Ringkerntransformatoren Kabel & Zubehör Elektromagnete

Piezo-Schallgeber Electronic-Summer

EMCT, Swiss made, high quality buzzers and access to worldwide connector technology.

24 HRS. Information & Service W3.emct.ch

Anzeige