



PHOTOVOLTAIK IM VERKEHR

Abb 1



- ▶ **PV ist eine bewährte Stromversorgung für Kommunikationssysteme im Verkehr**
- ▶ **PV ist hier heute schon technisch und wirtschaftlich wettbewerbsfähig**
- ▶ **Ergebnisse sind übertragbar auf vergleichbare netzferne Geräte mit geringem Strombedarf**
- ▶ **Chancenreiche Exporttechnologie**

*Geschwindigkeitswarnanlage
mit solarer Stromversorgung, L 764, Minden*

Im Verkehrsbereich gibt es vielfältige Anwendungen mit Strombedarf, die künftig einen höheren Stellenwert einnehmen werden: Fahrplanbeleuchtung, Parkscheinautomaten, ereignisorientierte Stauwarnung und Verkehrsinformation, Notrufsäulen, Verkehrserfassung, Leitsysteme, Navigationssysteme und andere Kommunikations-, Signal- oder Telematikanwendungen.

Kommunikation im Verkehr ist ein Bereich mit großen Wachstumschancen. Die dazu notwendigen Geräte und Anlagen benötigen eine zuverlässige und wartungsarme Stromversorgung. Zudem müssen sie flexibel einsetzbar und unkompliziert zu installieren sein. Daher sind sie ein ideales Anwendungsfeld für die Photovoltaik.

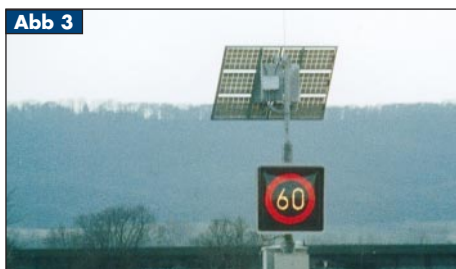
Photovoltaischer Strom ist teuer – das gilt zumindest heute noch, sofern man zum Vergleich den Strom aus dem öffentlichen Netz heranzieht. Doch überall wo es zu aufwendig, zu zeitintensiv oder gar nicht möglich ist, Geräte an die öffentliche Stromversorgung anzuschließen, da wird die Photovoltaik zur attraktiven und kostengünstigen Alternative – dies gilt insbesondere für Anwendungen mit geringem Strombedarf. Oft sogar gewinnen mit solarem Strom betriebene Geräte an Funktionalität und Qualität. So sind z. B. netzstromversorgte Signalanlagen weitgehend unverrückbar, erst die

solare Stromversorgung bringt die notwendige Flexibilität für eine geänderte Verkehrsführung oder Baumaßnahmen. Nicht nur in netzfernen Gegenden sondern auch in den Städten haben diese Geräte gute Chancen, wie der sich deutlich abzeichnende Erfolg von solarstromgespeisten Parkscheinautomaten zeigt.

Obwohl es schon seit vielen Jahren solarbetriebene Geräte im Verkehrsbereich gibt, ließ der breite Markterfolg - mit nur wenigen Ausnahmen - erst einmal auf sich warten. Daher sollte in einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungsvorhaben die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) verschiedene solarstrombetriebene Geräte und Anlagen untersuchen. In dem von 1992 bis 1996 laufenden Projekt konnten Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit erprobt und demonstriert werden. Zugleich wurde untersucht, inwieweit der Energieverbrauch der Geräte reduziert werden kann. In der Folge waren beachtliche Aktivitäten in diesem Marktsegment zu verzeichnen. Verschiedene, zumeist mittelständische Unternehmen bieten inzwischen PV-Produkte für den Verkehrsbereich an. So auch ein Unternehmen in Dresden, das derzeit mit Unterstützung des BMWi eine universell verwendbare solare Warnleuchte entwickelt.

► Anlagen und Ergebnisse

In dem Demonstrationsvorhaben wurden 8 verschiedene Anlagen mit insgesamt 28 Photovoltaik-Systemen konzipiert und installiert, die nach Wirtschaftlichkeitskriterien, Multiplikationschancen und Öffentlichkeitswirksamkeit ausgewählt wurden. Untersucht werden sollten die Anlagen auf Funktion und Zuverlässigkeit. Im folgenden werden ausgewählte Anlagen vorgestellt.



Mobile Stauwarnanlage, A5/A8, Baden-Württemberg (Abb 2)

Projektbeschreibung	Die Anlage war für Arbeitsstellen mit einer Dauer von nur einigen Monaten konzipiert. Der Verkehrsfluss wird mit Radardetektoren erfasst, per Funkverbindung an die Zentrale geleitet, analysiert und ggf. Wechselverkehrszeichen aktiviert. Alle Komponenten wurden nach geringer Leistungsaufnahme ausgewählt.			
Komponente	1	2	3	4
PV-Leistung	225	270	270	159 W _p
Akkumulatorkapazität	2,6	3,9	5,2	2,5 kWh
Energiebedarf der Anlage	49,2	67,6	71,3	27,1 kWh/a
Verfügbarkeit '92 bis '96	100%	97%	79%	100%
Betrieb	10/1992 bis heute			
Langzeiterfahrungen	Die Anlage wurde im Laufe der Zeit 4-mal umgesetzt. Funktioniert gut, nachdem anfängliche Unterdimensionierungen behoben wurden. Es gab Probleme mit den Funksendern, nicht aber mit der PV. Die Anlage steht derzeit an der A8 bei Stuttgart.			

Geschwindigkeitswarnanlage, L 764, Minden (Abb 1 u. 3)

Projektbeschreibung	An einer unübersichtlichen Passage wird die dortige Geschwindigkeitsbegrenzung durch insgesamt 4 Geschwindigkeitswarnanlagen unterstützt. Die Signaleinrichtung basiert auf LED-Technik mit Faseroptik und hat eine um 75% verringerte Leistungsaufnahme.
PV-Leistung	360 W _p
Akkumulatorkapazität	5,2 kWh
Energiebedarf der Anlage	82 kWh/a
Verfügbarkeit '93 bis '96	60% (Signaleinrichtungen hatten zunächst einen unerwartet hohen Energiebedarf wegen häufiger Auslösung durch Raser)
Betrieb	04/1993 bis heute
Langzeiterfahrungen	Nachdem die anfängliche Unterdimensionierung behoben war, gab es in der Folge hin und wieder Störungen (Laderegler, Batterien), die jedoch zumeist von der Straßenmeisterei behoben werden konnten. Die Anlage wird wegen Streckenausbau in Kürze abgebaut, der weitere Einsatz ist noch unklar. Straßenbauamt steht einer Umsetzung skeptisch gegenüber, da dies ähnlich aufwendig sei wie bei einer neuen (konventionellen) Anlage. Eine vergleichbare Anlage im Projekt bei St. Augustin, B56n, funktioniert gut, soll aber bald mit Netzstrom versorgt werden, da das 7 Jahre alte System in LED-Technik nach Einschätzung des Straßenbauamtes zu schwach leuchtet.

Mechanische Wechselverkehrszeichen mit Funkansteuerung (Abb 4)

Projektbeschreibung	An 4 Querschnitten der A8 wurden insgesamt 8 Wechselverkehrszeichen in Prismenwendetechnik zum Aufbau eines Geschwindigkeitstrichter mit Stauwarnung aufgebaut.
PV-Leistung je WVZ	45 W _p
Akkumulatorkapazität	0,72 kWh
Energiebedarf der Anlage	8,8 kWh/a
Verfügbarkeit '93 bis '96	97%
Betrieb	05/1992 bis heute
Langzeiterfahrungen	Die Wechselverkehrszeichen funktionieren gut, sie werden in Kürze umgesetzt. Es kam zu einem Moduldiebstahl (1993).

► Energiebilanz

Photovoltaisch versorgte Geräte bestehen meist aus einem oder mehreren Solarmodulen, einem Laderegler sowie einem Akkumulator (Batterie). Entscheidend für die zuverlässige Funktion ist die richtige Komponentenabstimmung, die sich am Strombedarf des Gerätes und an der örtlichen solaren Einstrahlung orientiert. Zur Auslegung des Systems empfehlen sich vorhandene Softwareprodukte, mit denen verschiedene Anlagenvarianten unter bestimmten Einstrahlungsbedingungen simuliert werden können.

Eine erste Abschätzung erhält man, indem die Solargeneratorgröße so gewählt wird, dass mit einer mittleren täglichen Einstrahlung auch in der sonnenarmen Zeit der Strombedarf des Gerätes gedeckt werden kann. Die Batterie wird dann so dimensioniert, dass eine ausreichend lange Autonomiezeit erreicht wird, d. h. auch nachts oder evtl. in längeren sonnenarmen Perioden kann der Strombedarf des Gerätes allein aus der Batterie gedeckt wer-

den. Eine genauere Kalkulation muss zusätzlich evtl. Mindererträge aufgrund von Verschattung, die Lade- und Entladedynamik der Batterie sowie die Wetterstatistik berücksichtigen. Zu kleine Modulleistungen oder Batterien führen dazu, dass das System zeitweise nicht einsatzbereit ist, zu groß dimensionierte Komponenten führen zu zusätzlichen Kosten - der zusätzlich erzeugte bzw. gespeicherte Solarstrom verpufft ungenutzt.

Energiemanagement für das Gerät

Mit integrierter Elektronik ist es möglich, den Energiebedarf durch eine optimierte Betriebsweise merklich zu verringern. So können bei vielen Anwendungen die Geräte überwiegend im Stand-by-Modus verharren, erst ein bestimmtes Ereignis (z. B. der Münzeinwurf im Parkscheinautomat, der Impuls eines Bewegungssensors) „weckt“ das System. Bei vielen Geräten kann übrigens der Strombedarf im Stand-by-Modus oft noch drastisch reduziert werden.

Technologische Neuerungen

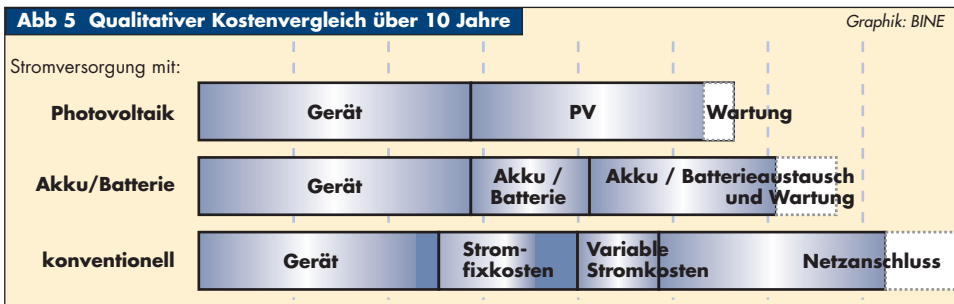
Oft ist eine grundsätzliche Reduktion der Leistungsaufnahme durch den Einsatz neuer Technologien möglich. Beispielsweise haben konventionelle Lichttraster-Wechselverkehrszeichen einen Leistungsbedarf von ca. 150 Watt. Anlagen in Leuchtdiodentechnik (LED) kommen mit 35 Watt oder sogar geringeren Leistungen aus. LEDs werden ständig weiterentwickelt. Inzwischen sind fast alle Farben (auch weiß) möglich. LEDs zeichnen sich aus durch hohe Lichtausbeuten (Faktor 7 größer als rot gefilterte Glühlampen). Neuerdings erfüllen LEDs auch alle Anforderungen nach den gültigen Normen im Straßenverkehr. Weitere Vorteile sind die extrem lange Lebensdauer (ca. 100.000 h, auch bei Blinkbetrieb), was die Wartung kostengünstiger macht. Zudem kann mit LEDs die Lichtstrahlung stärker gebündelt und damit effektiver genutzt werden.

► Kosten

Die in dem BASt-Projekt angefallenen Kosten sind in **Tab 1** im Vergleich zu heutigen Anlagen dargestellt. Die Werte streuen aufgrund der unterschiedlichen Leistungsgrößen und Einsatzbedingungen sehr stark. Die Wirtschaftlichkeit muss unbedingt geräte- und standortbezogen z. B. gemäß **Abb 5** ermittelt werden. Die Anlagen im BASt-Projekt sind durchweg Prototypen. Nachfolgende Serienprodukte werden günstigere Kostenwerte erreichen.

Abb 5 zeigt den qualitativen Kostenvergleich über einen Zeitraum von 10 Jahren für z. B. einen Stausensor, der mit unterschiedlicher Stromversorgung betrieben wird: Die Kosten bei den autonom betriebenen sind aufgrund erhöhter Energiesparanforderungen geringfügig höher angesetzt als bei netzbetriebenen. Unter Stromfixkosten sowie der Anschluss- und Zählergebühren sowie der Grundpreis des Kleinleistungstarifs subsumiert.

Tab 1	Kosten im BASt-Projekt (Installation 1992-94)	Kosten 1999
Netzanschlusskosten bei Netzstromversorgung	-	75 ^① – 1.000 ^② DM/m ① „Wiese“, große Entfernungen ② aufw. Straßenbelag, kurze Entfernungen
Investitionskosten von PV-Stromversorgungen (pro benötigter Nennleistung)	39 ... 77 (Ø) ... 118 DM/W _p	30 ^① – 100 ^② DM/W _p ① für große Leistungen, kleine Autonomiezeiten ② für kleine Leistungen, große Autonomiezeiten
Stromgestehungskosten bei PV-Stromversorgung (bezogen auf tatsächlich genutzte Elektrizität)	17 ... 45 (Ø) ... 84 DM/kWh	2 ^① – 100 ^② DM/kWh ① Betrieb ausschließlich bei solarer Einstrahlung, geringer Montageaufwand ② hohe Verfügbarkeitsanforderungen und Autonomiezeiten

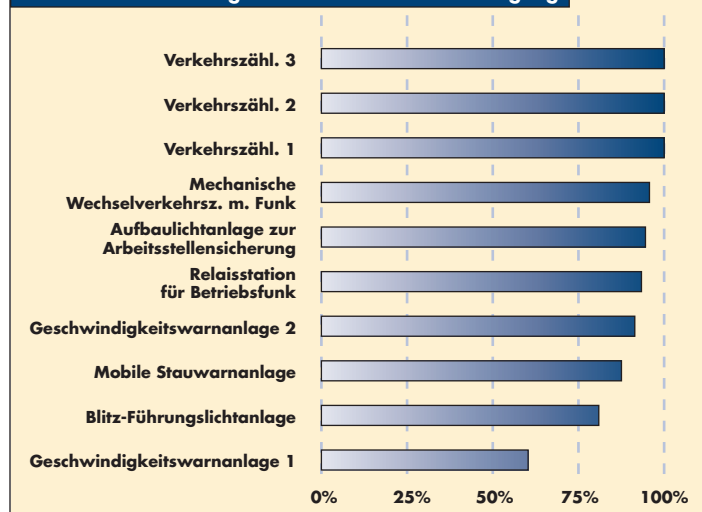


► Störungen – Ursachen

Nicht immer, das zeigt **Abb 6**, erreichten die Anlagen die anvisierte 100-prozentige Verfügbarkeit. Dies lag an folgenden Ursachen (in der Reihenfolge der Häufigkeit):

- Diebstahl der Solarmodule. Er lässt sich allerdings weitgehend durch geeignete Befestigungen oder Produktintegration verhindern.
- Ladereglerdefekte. Fehlfunktionen oder Ausfälle des Ladereglers führen zu reduzierten Leistungswerten, verringerten Autonomiezeiten oder zum Komplettausfall der Stromversorgung. Dieser Fehler trat jedoch nur bei einem Ladereglertyp auf und ist daher konstruktions- oder bauartbedingt. Inzwischen zeigen Laderegler ähnlich hohe Zuverlässigkeitswerte wie andere Leistungselektronikbauteile auch.
- Störungen und Fehlfunktionen der zu versorgenden Geräte. Dies kann zu einem erhöhten Energieverbrauch der Geräte führen, der von der Photovoltaik (zeitweise) nicht mehr gedeckt werden kann.
- Unterdimensionierung der Photovoltaik. Dies kann durch sorgfältige Planung mit Leistungsreserven vermieden werden.

Abb 6 Mittlere Verfügbarkeit der PV-Stromversorgung



► Marktentwicklung

Der Markt für solarstromversorgte Geräte im Verkehrsbereich kommt in Gang. So haben sich solare Parkscheinautomaten voll etabliert, auch bei Notrufsäulen und Verkehrsdatenerfassungssystemen erreichen die meist mittelständischen Anbieter große Stückzahlen. PV-gestützte LED-Signalanlagen werden mittelfristig folgen. Doch die mit Solarstrom betriebenen Geräte werden in Ausschreibungsverfahren teilweise noch benachteiligt, wenn allein die Investitionskosten und nicht die Gesamtkosten inklusive Betriebs- und Wartungskosten als Entscheidungskriterium herangezogen werden.

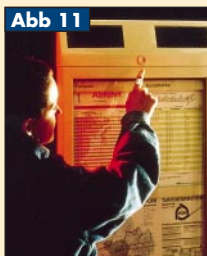


Abb 7 Parkscheinautomat
Parkscheinautomat mit EC- oder Chip-Zahlungsmöglichkeit und PV-Stromversorgung. Foto: Siemens, München

Abb 8 Verkehrsdatenerfassung (Stausensor)
Per Infrarotsensoren wird die Geschwindigkeit der Fahrzeuge erfasst. Die Daten werden per Funk an Verkehrszentralen gesendet. PV-Stromversorgung. Foto: Siemens, München

Abb 9 Baustellenbake
LED-Signalleuchte mit Akku-Stromspeicher. Solarzellen sind zugleich Helligkeitssensoren, schalten Blinklicht automatisch ein/aus.. Foto: Solarwatt, Dresden

Abb 10 Bahn-Streckentelefon
Die direkt darüber liegende Netzleitung wäre nur mit hohem Aufwand erreichbar, das PV-versorgte Streckentelefon dagegen ist sehr rationell zu installieren. Foto: Solarwatt, Dresden

Abb 11 Beleuchtete Fahrplanvitrine
Das Lesen der Fahrpläne ist nachts mangels geeigneter Beleuchtung oft nicht möglich. LEDs in Verbindung mit einer Lichtleitplatte hinterleuchten auf Knopfdruck die Informationstafel. Foto: MABEG, Soest

► Aktuelle Entwicklung

Derzeit arbeitet die Fa. Solarwatt an einer verbesserten solaren Warnleuchte: Ziel ist eine universell einsetzbare, kostengünstige Warnleuchte, die ohne die bislang in solchen Lampen verwendeten Batterien und dem damit verbundenen Abfall auskommt. Das Solarmodul wird ähnlich wie bei der in **Abb 9** gezeigten solaren Baustellenleuchte in der Leuchte integriert. Neben Blinklicht wird es auch einen Dauerlichtbetrieb geben, die Lampe wird universell einsetzbar sein. Die Leuchte kann als Aufsatzleuchte für Baken und auch für andere Anwendungen verwendet werden. Die BAST-Prüfung nach TL Warnleuchten wird angestrebt. Derzeit wird ein Produktions- und Vertriebskonzept erarbeitet, in Kürze werden Feldtests beginnen, der Serienstart ist für Ende 2000 geplant.

► Fazit

Die Erfahrungen mit solarstromversorgten Anlagen im Verkehrsbereich sind gemischt. Viele Anlagen des BAST-Projektes funktionieren – trotz ihres prototypischen Charakters – sehr zuverlässig. Entsprechend positiv ist auch die Bewertung durch die Betreiber. Bei einigen Anlagen gab es häufig Störungen. Hier verbleiben deutliche Vorbehalte gegen diese Technik – ein großer Installations-, Wartungs- oder Instandsetzungsaufwand wird nicht akzeptiert.

Photovoltaisch betriebene Produkte müssen daher als in hohem Maße standardisierte, praktisch wartungsfreie, einfach zu installierende und zu bedienende Geräte realisiert werden. Die Produktqualität darf nicht unter den Energiesparzwängen leiden. Mit heutigen LEDs beispielsweise gewinnen Signalanlagen aufgrund höherer Lebensdauer, größerer Leuchtstärke, Robustheit und Energieeffizienz deutlich an Qualität.

PV-Module sind sehr vielseitig verwendbar, das kann auch zum Problem werden: In dem Pilotprojekt der BAST wurden viele Solarmodule abmontiert und entsorgt – insbesondere in ländlichen Gegenden. Vermutlich wird die Attraktivität der Module für Langfinger mit der größeren Verfügbarkeit und sinkenden Preisen ohnehin abnehmen, dennoch lohnt es sich Vorkehrungen zu treffen. Produktintegrierte Module (verklebt, laminiert, integriert etc.) oder nicht abschraubbare Spezialmodule haben hier Vorteile. Von Vandalismus oder Graffiti bei PV-versorgten Geräten wurde bislang noch nicht berichtet. Aber auch hier sollte durch geeignet stabile, gut zu reinigende Oberflächen vorgebeugt werden.

► PROJEKTADRESSEN

Koordination BAST-Projekt

- ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Verbindungsstraße 19, 40723 Hilden

Technische Untersuchungen

BAST-Projekt

- Bundesanstalt für Straßenwesen, Postfach 10 01 50, 51401 Bergisch Gladbach

Solare Warnleuchte

- Solarwatt Solar-Systeme GmbH, Grenzstraße 28, 01109 Dresden

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- „Photovoltaik in der Straßenausstattung“. BAST-Bericht V 35. Erhältlich über Wirtschaftsverlag NW GmbH, Fax Tel. 0471 / 945 44-88 für DM 25,50 + Versandkosten
- „Photovoltaische Energieversorgung von Geräten und Kleinsystemen“. Ein Begleitbuch zum gleichnamigen Seminar. Hrsg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE), Freiburg. 610 S. Erhältlich beim Fraunhofer ISE gegen Einsendung eines Verrechnungsschecks über DM 157,47 inkl. Versand und Porto. Fax 0761 / 4588-217.

Weitere Adressen

Eine Liste von Institutionen und Unternehmen, die sich mit der Solarstromversorgung von Geräten befassen, ist erhältlich bei BINE oder abrufbar unter <http://bine.fiz-karlsruhe.de>, „Service/Infoplus“

PROJEKTORGANISATION

- **Förderung der Vorhaben**
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Godesberger Allee 185, 53175 Bonn
- **Projektbegleitung im Auftrag des BMWi**
Projekträger Biologie, Energie, Umwelt (BEO)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Jochen Viehweg
52425 Jülich
- **Förderkennzeichen**
0329049 A, B
0329842 B

IMPRESSUM

- **ISSN**
0937 – 8367
- **Herausgeber**
Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
- **Nachdruck**
Nachdruck des Textes nur zulässig bei
vollständiger Quellenangabe und gegen
Zusendung eines Belegexemplares
- Nachdruck der Abbildungen nur mit
Zustimmung der jeweils Berechtigten.
- **Redaktion**
Johannes Lang

BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- Bildung & Energie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf, wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstr. 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

eMail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: <http://bine.fiz-karlsruhe.de>