



## Stromnetzqualität – Netzintegration dezentraler Stromerzeuger

Abb 1



- ▶ **Management dezentraler Stromerzeuger und Verbraucher verbessert Netzqualität**
- ▶ **Automatisierter Abgleich von Angebot und Nachfrage durch Marktmechanismen**
- ▶ **Dezentrale Energieversorgungsanlagen erbringen künftig Systemdienstleistungen**

*In der Nacht hatte der elektronische Energiemanager die Waschmaschine eingeschaltet, denn der Strompreis war günstig. Jetzt, in der Mittagszeit, erreicht der Strompreis sein Tagesmaximum – der richtige Zeitpunkt für das Mikro-Blockheizkraftwerk den Warmwasserspeicher aufzufüllen und den dabei erzeugten Strom in das Netz einzuspeisen.*

**Z**unehmend tragen Klein- und Kleinstkraftwerke wie Blockheizkraftwerke, Photovoltaikanlagen oder kleine Windenergieanlagen zur Stromversorgung bei. Anders als etwa große Windenergieanlagen speisen diese meist direkt in das Niederspannungsnetz ein, unterstützen das Netz aber nicht durch Systemdienstleistungen wie zum Beispiel die Leistungs- oder Frequenzregelung, die Spannungsbandhaltung, die Bereitstellung von Blindleistung oder die Verbesserung der Netzspannungsqualität. Solche Dienstleistungen werden heute noch nahezu vollständig von Großkraftwerken erbracht.

Für die Netzbetreiber stellt die wachsende Zahl dezentraler Energieversorgungsanlagen eine neue Herausforderung dar: Sie haben weder Kontrolle noch Kenntnis über die aktuelle Höhe der Einspeisung der einzelnen Anlagen. Die dezentralen Energieversorgungsanlagen sind im Niederspannungsnetz meist nicht leittechnisch eingebunden, so dass der Netzbetreiber die Einspeisungssituation weder aktuell beob-

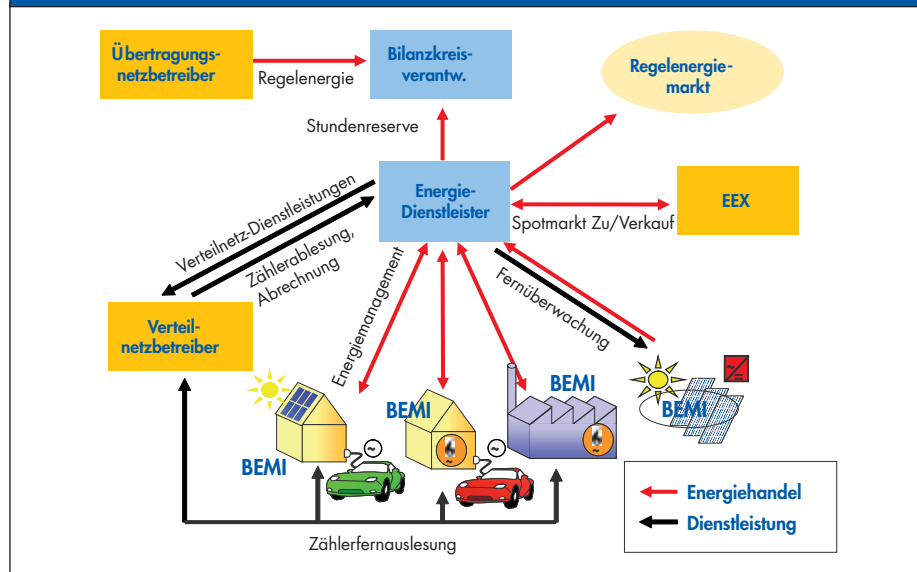
achten noch steuern, sondern allenfalls prognostizieren kann. Wird unter diesen Bedingungen der Anteil von unkoordinierten dezentralen Energieversorgungsanlagen an der Gesamterzeugung zu hoch, kann der sichere und optimale Betrieb der Netze gefährdet sein.

Verschiedene Forschungsprojekte haben aber gezeigt, dass dezentrale Energieversorgungsanlagen auch einen Beitrag zum optimalen Netzbetrieb leisten können, wenn entsprechende Messeinrichtungen vorhanden sind und geeignete Energiemanagementsysteme die Erzeugung und den Verbrauch in den Verteilnetzen steuern. Dabei konkurrieren Konzepte mit zentraler Steuerung mit Systemen, die Stromeinspeisung und -verbrauch dezentral optimieren.

Das vom Bundesministerium für Umwelt geförderte Forschungsprojekt DINAR zeigt auf, wie sich ein dezentrales Energiemanagement realisieren lässt. Zusammen mit siebzehn Industriepartnern hat das Institut für Solare Energieversorgungssysteme (ISET) ein bidirektionales Energiemanagement im Niederspannungsnetz entwickelt.

## ► Energiemanagement – zentral oder dezentral?

Abb 2: Gesamtsystem eines dezentral organisierten Energiemanagements



Wie können dezentrale Stromerzeuger und Verbraucher künftig optimal in das Niederspannungsnetz eingebunden werden? Ist es besser, sie zentral zu koordinieren oder bietet ein dezentrales Energiemanagement mehr Vorteile? Diese konkurrierenden Ansätze werden derzeit in verschiedenen Forschungsvorhaben untersucht. Dabei geht es nicht nur um technische Lösungen, sondern auch darum, ob und wie sich die Systeme in den liberalisierten EU Binnenmarkt integrieren lassen. Insbesondere müssen Eigenschaften des Marktes, wie der diskriminierungsfreie Netzzugang und die Trennung von Netzbetrieb und Erzeugung, bestehen bleiben.

### Zentrales Energiemanagement

Mit einem zentralen Energiemanagementsystem entsteht durch den Zusammenschluss

verschiedener Stromerzeuger im Verbund mit Speichern und Verbrauchern im Idealfall ein „virtuelles Kraftwerk“. Dieses weist Eigenschaften eines Großkraftwerks auf (s. BINE-Projektinfo 2/2002): es lässt sich auf Basis von Fahrplänen zentral steuern und erbringt Systemdienstleistungen. Durch die Bündelung von Kapazitäten kann es an Strommärkten teilnehmen.

Diesen Vorteilen des zentralen Managements stehen zwei Nachteile gegenüber: die zentrale Leitstelle stellt einen „Single Point of Failure“ dar, so dass sie entsprechend sicher und redundant ausgelegt werden muss. Außerdem ist der Kommunikationsaufwand für den Versand von Fahrplänen und die Online-Überwachung der Anlagen hoch und die Komplexität der zentralen Optimierung wächst exponentiell mit der Zahl der Erzeu-

ger und Lasten. Daher ist das zentrale Management nur für eine kleine Anzahl Erzeuger und Lasten technisch sinnvoll umsetzbar, nicht aber für hunderte oder tausende Erzeuger im Niederspannungsnetz.

Neben diesen technischen Schwierigkeiten ergeben sich auf dem liberalisierten Energiemarkt rechtliche Probleme, wenn z.B. Lasten und Erzeuger unterschiedlicher Besitzer eingebunden werden. Auch existiert kein einzelner Marktteilnehmer mehr, der sowohl Zugriff auf die Daten des Netz- als auch des Kraftwerksbetriebs hat, um den Erzeugungsmix und die Netzführung optimal betreiben zu können.

### Dezentrales Energiemanagement

Eine dezentral organisierte Steuerung von Energieerzeugungsanlagen und Verbrauchern ist gegenüber einem zentralen Management robuster, weniger komplex und hat einen geringeren Kommunikationsbedarf – Merkmale, die bei hoher Anzahl von Erzeugern und Verbrauchern besonders zum Tragen kommen. Die Entscheidungen treffen dezentrale Energiemanagementsysteme, die sowohl die Stromerzeugung optimieren als auch Verbraucher zu- und abschalten können. Damit diese Optimierungsentscheidungen zu einem Optimum für das Gesamtsystem führen, werden sie über zentrale Informationen, wie Einspeise- und Bezugstarife, gelenkt.

Im Projekt DINAR untersuchten die Forscher die organisatorischen und technischen Voraussetzungen, um das Verhalten der Energieerzeuger und Verbraucher durch variable Tarife und automatisches Gerätemanagement zu optimieren.

## ► Forschungsprojekt DINAR

In dem im Rahmen von DINAR entwickelten Konzept werden Energieverbraucher und Betreiber dezentraler Anlagen zu Marktteilnehmern, die je nach aktuellem Bedarf elektrische Energie liefern oder abnehmen (Abb 2). Die bisherigen reinen Energiehändler bieten jetzt zusätzliche Energiedienstleistungen an. Der Energiedienstleister führt einen bidirektionalen Energiehandel zwischen seinen Kunden und den übergeordneten Energiemärkten, wie zum Beispiel der Strombörse EEX durch, fungiert also sowohl als Energielieferant als auch -abnehmer. Eine zusätzliche Vermarktungsmöglichkeit für die dezentral erzeugte elektrische Energie ist der Verkauf von Ausgleichsenergie oder die Teilnahme am Regenergiemarkt.

Der Energiedienstleister versorgt die Kunden mit zentralen Informationen über variable Tarife für Verbrauch und Einspeisung, die unter anderem aus dem aktuellen Spotmarkt-

preis der EEX generiert werden. Diese Tarife werden durch eine Leitstelle an dezentral entscheidende Einheiten, die Bidirektionalen Energiemanagement-Interfaces (BEMI), verteilt. Diese reagieren durch die automatische Zu- oder Abschaltung von Lasten oder dezentralen Energieversorgungsanlagen und minimieren dadurch die Stromkosten für den Kunden. Da sich die Reaktion der Kunden auf variable Tarife innerhalb eines Versorgungsgebietes relativ genau prognostizieren lässt, stellt dieses Verhalten ein für den Energiedienstleister verlässliches, für den Kunden transparentes und flexibles Instrument zur Beeinflussung des Last- und Erzeugungsverlaufes dar.

Dieses Instrument kann z.B. dafür genutzt werden, die Abregelung etwa von Windenergie- oder Photovoltaikanlagen zu vermeiden, wenn die Einspeisung aus diesen Quellen die aktuelle Last übersteigt. Auf eine künst-

liche Absenkung des Verbrauchstarifs durch den Energiedienstleister würden die „elektronischen Energiemanager“ im betreffenden Netzabschnitt durch Zuschaltung von Lasten reagieren. In Zukunft können das auch Plug-in Hybridfahrzeuge sein.

### Bidirektionales Energiemanagement-Interface (BEMI)

Für ein weitgehend automatisiertes, dezentrales Energiemanagement benötigen die Kunden entsprechende Hard- und Software zum automatischen Schalten von elektrischen Lasten und Erzeugern. Hierfür entwickelten die Forscher ein bidirektionales Energiemanagement-Interface (BEMI), welches als dezentrale Intelligenz den konventionellen Zählerschrank im Hausanschluss ersetzt (Abb 3). Es empfängt von der Leitstelle zentrale Informationen, insbesondere das Preisprofil für den Folgetag. Basierend dar-

auf wird der optimale Einsatzplan für alle angeschlossenen Geräte berechnet. Dies sind Verbraucher wie z.B. Kühlgeräte, Warmwasserboiler, Klimaanlage, Waschmaschinen, Trockner und, sofern vorhanden, Stromerzeuger wie z.B. KWK-Anlagen. Zukünftig dürften auch Systeme mit Batteriespeicher, Ladeeinrichtungen von Elektrofahrzeugen und Brennstoffzellen-Heizgeräte eine wichtige Rolle spielen.

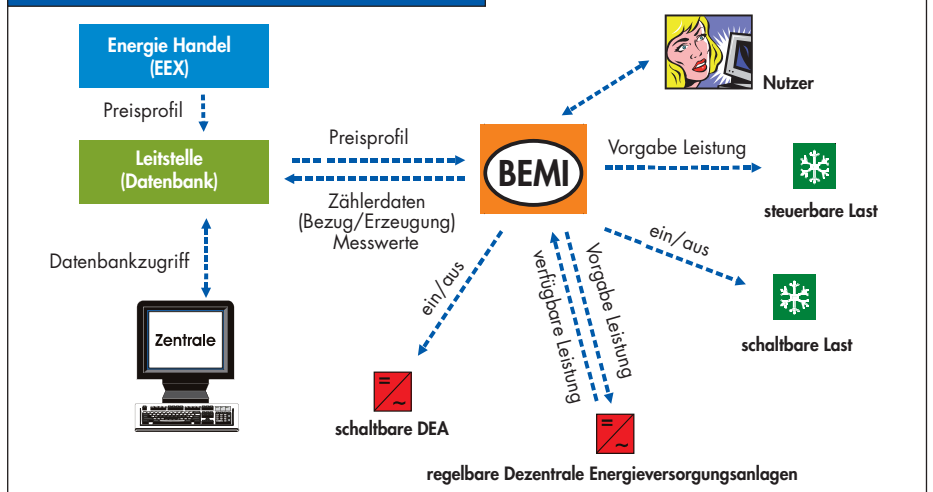
Ein Zählerinterface erfasst die verbrauchten und erzeugten Leistungsflüsse und übermittelt die Daten zur Leitstelle. Die viertelstündliche Erfassung von Last und Erzeugung ist entscheidend dafür, dass auch im liberalisierten Strommarkt der optimierte zeitliche Einsatz der Geräte abgerechnet und vergütet werden kann. Manche Geräte – wie z.B. Kühlschränke, deren Innentemperatur vom BEMI überwacht wird – können gesteuert werden, ohne dass der Kunde davon Notiz nimmt. Bei anderen Geräten, wie z.B. Waschmaschinen, muss der Kunde aber über den geplanten Einsatz informiert werden und die Möglichkeit haben, den vom BEMI errechneten Fahrplan auf Wunsch zu ändern. Ermöglicht wird das über einen handelsüblichen Handheld-Computer mit WLAN, mit dem der Nutzer Informationen abfragen und Modifikationen an Einsatzplänen und Parametern vornehmen kann. Das vom BEMI zur Verfügung gestellte Web-Interface kann über das Internet auch für Ferneingriffe genutzt werden. Verbrauchs- und Erzeugungsdaten für die Abrechnung werden auf einen zentralen Server übertragen und dort dargestellt. Dasselbe gilt für Messwerte der Spannung, Frequenz und Impedanz für die Netzüberwachung, die durch das Mess- und Steuerinterface (MSI) des BEMI zur Verfügung gestellt werden.

### Realisierung und Testbetrieb

Das BEMI wurde im Rahmen des Projekts DINAR als Laboraufbau realisiert. Zur Demonstration und Verifikation wurden im DeMoTec-Labor des ISET zwei Testhaushalte aufgebaut (Abb 1). Diese verfügen über verschiedenartige Kühlgeräte und Wäschetrockner, welche von den BEMIs gemanagt werden. Zur Deckung von simulierten Wärmebedarfsprofilen werden in den Testhaushalten außerdem zwei verschiedene KWK-Anlagen betrieben. Zur zeitlichen Entkopplung von Wärmebedarf und Stromerzeugung sind die Anlagen über Speicher mit der Wärmesenke verbunden. Die BEMIs optimieren den Einsatz der KWK-Anlagen auch unter Berücksichtigung des Wärmespeicherinhalts.

Ein dauerhafter Testbetrieb dieses Aufbaus wurde im DeMoTec-Labor von Juli bis Oktober 2007 durchgeführt, wobei die variablen Tarife für einen der Haushalte von der EEX, für den anderen vom regionalen Versorger, den städtischen Werken Kassel AG, übertragen wurden. Durch das Management wurden Einsparungen erzielt, die z.B. für ein Kühlgerät etwa 8% der Jahres-Nettogesamtkosten betragen.

Abb 3: Kommunikationsstruktur mit BEMI



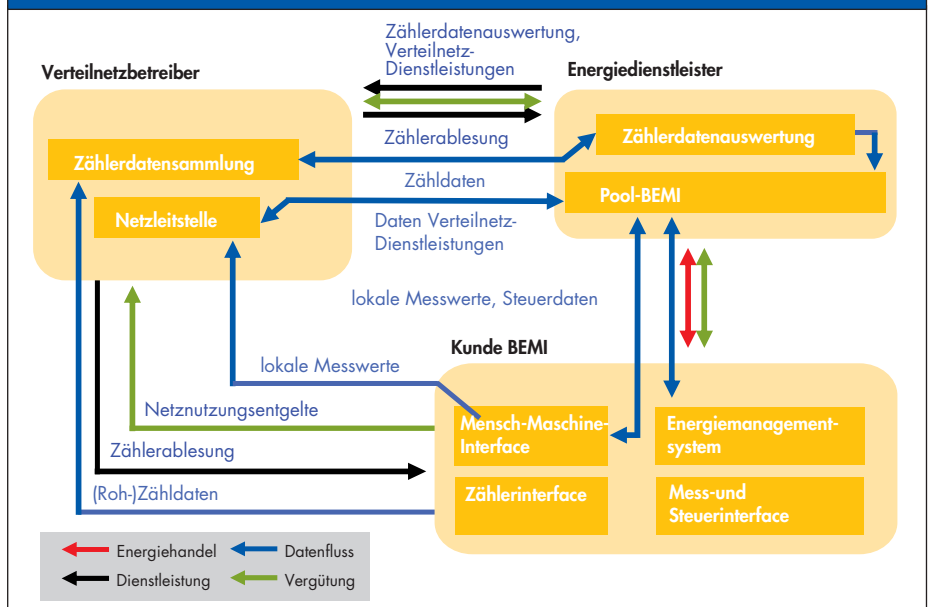
### Anwendungen

Die möglichen Anwendungen des BEMI betreffen einerseits das Wirkenergiemanagement, das sich unter anderem zur Integration fluktuierender Erzeugung nutzen lässt. In einem simulierten Szenario wurde das Lastmanagement mit 6400 BEMI mit Waschmaschinen und Kühlschränken verwendet, um ein Einspeisedefizit aus Photovoltaik und Wind auszugleichen. Dafür werden heute zentrale Mittel- und Spitzenlastkraftwerke eingeplant. Mit dem BEMI-Management würde sich die benötigte Leistung aus diesen Kraftwerken um etwa 30% reduzieren. Mit der Zählerfernauslesung und Netzstatusüberwachung werden aber auch Smart-Metering Funktionen sowie Verteilnetz-Dienstleistungen ermöglicht. Unter diesem Begriff werden Funktionen zusammengefasst, die den Verteilnetzbetreiber beim Netzbetrieb und bei der technischen Integration verteilter Erzeuger unterstützen. Dazu gehört die Überwachung des Versorgungszustands bis hin zur Verbesserung der Spannungsqualität und Netzengpassüberwachung. Um dies zu ermöglichen, muss eine große Anzahl der bidirektionalen Energiemanagement-Interfaces (BEMI) durch eine überge-

ordnete Komponente gebündelt werden. Dieses „Pool-BEMI“ bildet die technische Schnittstelle zwischen Energiedienstleister und Verteilnetz-Leitstelle und befindet sich zurzeit in der Entwicklung.

Das Prinzip der dezentralen Entscheidung wird auch für das übergeordnete Management eingesetzt. Das bedeutet, dass auch das Pool-BEMI nicht direkt über den Einsatz der dezentralen Erzeuger und Lasten entscheidet. Der im Projekt DINAR verwendete Mechanismus der variablen Tarife soll jedoch so erweitert werden, dass die BEMI dem Pool-BEMI Informationen über freie Ressourcen – beispielsweise Erzeugungspotenziale – liefern und somit eine aktivere Rolle spielen. Das Pool-BEMI aktiviert diese Ressourcen mit Hilfe von Preissignalen, die es den BEMI als zentrale Information zur Verfügung stellt. Zusätzlich steht es in Verbindung mit dem Verteilnetzbetreiber und steht als technische Schnittstelle für die Verteilnetz-Dienstleistungen zur Verfügung. Auch dezentrale Energieversorgungsanlagen wie Photovoltaik- oder kleine Windkraftanlagen können mit der BEMI-Technologie als aktive Einheiten in das System eingebunden werden.

Abb 4: Marktteilnehmer im BEMI-Pool



## ► Fazit und Ausblick

Die künftige Stromversorgung ist weiterhin durch eine zentrale Einspeisung auf der Hochspannungsebene geprägt. Dezentrale Energieerzeugungsanlagen werden, wie bisher auch, an das Mittel- oder Niederspannungsnetz angeschlossen. Zukünftig werden sie aber auch das Netz stabilisieren. Hauptaufgabe liegt in der Koordination der verschiedenen dezentralen Energieversorgungsanlagen durch eine bidirektionale Kommunikation. Dadurch wird sich in naher Zukunft der Verbundbetrieb durchsetzen, so wie er bereits heute in virtuellen Kraftwerken vorgedacht und verstärkt untersucht wird.

Die konzeptionellen Unterschiede zwischen BEMI und zentral geführtem virtuellem Kraftwerk scheinen zwar groß zu sein, aber beide Konzepte verfolgen ähnliche Ziele, wie z.B. das Erreichen eines vorhersagbaren Gesamtlastgangs. Daher handelt es sich bei BEMI und virtuellem Kraftwerk keineswegs um unvereinbare Konzepte, sondern im Gegenteil: beide ergänzen sich – richtig eingesetzt – gegenseitig. Das BEMI ist als Konzept auf das Management einer sehr großen Anzahl von Lasten und Dezentrale Energieversorgungsanlagen kleiner Leistungen zugeschnitten, während das zentral geführte virtuelle Kraftwerk besser für wenig Lasten und Dezentrale Energieversorgungsanlagen mit großer Leistung geeignet ist. In der zukünftigen Energieversorgung können daher beide Konzepte eine Schlüsselrolle zur vollständigen Erschließung des technischen Potenzials einnehmen. Dies setzt allerdings die Entwicklung virtueller Kraftwerke mit einer geeigneten Schnittstelle zum Netzbetrieb sowie eine aufgeschlossene Strategie der Netzbetreiber bezüglich deren Nutzung voraus.

## PROJEKTORGANISATION

■ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
11055 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Christoph Hünnekes  
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen  
0329900D, 0329900E

## IMPRESSUM

■ ISSN  
0937 – 8367

■ Version in Englisch  
Dieses Projekt-Info bieten wir Ihnen als PDF auch in englischer Sprache unter [www.bine.info](http://www.bine.info) an.

■ Herausgeber  
FIZ Karlsruhe  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
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.

■ Autor  
Dr. Franz Meyer

## ► PROJEKTADRESSE

- Institut für Solare Energieversorgungstechnik e.V. (ISET)  
Dr. Christian Bendel  
Königstor 59  
D-34119 Kassel

## ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

### Literatur

- Bendel, C.; Nestle, D.; Ringelstein, J. u. a.: Marktmodell für ein dezentral organisiertes Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – Grundlage für ein internet-basiertes Managementsystem. In: ETG – Energietechnische Gesellschaft im VDE, Frankfurt (Hrsg.): Internationaler ETG-Kongress 2007. Karlsruhe, 23.-24. Okt. 2007. Vorträge. Berlin; Offenbach : VDE Verl., 2007. ISBN 987-3-8007-3064-3. S. 191-200

### Internet

- [www.projektdinar.de](http://www.projektdinar.de)

### Abbildungsnachweis

- Alle Abbildungen: ISET, Kassel

### Service

- Ergänzende Informationen sind beim BINE Informationsdienst erhältlich oder im Internet unter [www.bine.info](http://www.bine.info) (Service/Infoplus) abrufbar

## BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

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

### Kontakt

Fragen zu diesem **projektinfo**?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**Tel.: 0228 92379-44**

 **BINE**  
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0  
Fax: 0228 92379-29

[bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)