



Guy Depraetere

Drehstrom in Italien

1902-1976

Teil 1

Im Mai 1957 wartet die Drehstromlok E.432.021 mit dem Alpen-Express (Großenbrode - Rom) im Bahnhof Brenner auf die Abfahrt in den Richtung Süden. (Heribert Schröpfer)

In den letzten zwei Jahrzehnten steht die Drehstromtechnik in der Elektrotraktion im Mittelpunkt. Praktisch alle modernen Baureihen besitzen mittlerweile Drehstrommotoren. Die Technik der induktiven Drehstromfahrmotoren besteht allerdings seit 115 Jahren. Und obwohl kein technischer Vergleich zwischen den 1400 bis 1600 kW starken Fahrmotoren einer modernen TRAXX oder eines Europrinters mit den Veteranen aus dem frühen 20. Jahrhundert besteht, ist es doch interessant, wie eine heute kaum noch bekannte Traktionsart der Elektrifizierung in Italien während der 75-jährigen Einsatzzeit ihren Stempel aufgedrückt hat.

Die ersten Entwicklungen

Die ersten Jahrzehnte der Elektrotraktion waren auch die Suche nach dem besten Speisungssystem. Zunächst kamen ausschließlich Gleichstrommotoren zur Anwendung. Allerdings hatten die Ingenieure damit das Problem, dass der Gleichstrom nicht transformierbar ist und somit der Strom aus der Fahrleitung auch der maximal an den Motoren anliegenden Spannung entspricht. Für kurze Strecken war der Gleichstrombetrieb dennoch durchaus sinnvoll, auf langen Strecken erforderte dieses System aber ein recht engmaschiges Netz an Einspeisungswerken, da bei längeren Leistungen der Spannungsabfall sonst zu groß werden würde. Auf der Suche nach einer besseren Technik für länge-

re Strecken hatte der italienische Ingenieur Galileo Ferraris (1847-1897) schon 1885 die ersten Grundlagen für die Anwendung von Wechselstrom und die damit verbundene Induktion festgelegt. 1888 veröffentlichte er dann das Prinzip des magnetischen Drehfeldes. Der Vorteil von Wechselstrom lag in der recht einfachen Produktion und Transformation, dank derer der Wechselstrom als Hochspannung über längere Abstände transportiert werden konnte.

Ab 1891 erschienen die erste Wechselstrom- und Drehstrom-Versuchsbetriebe in Deutschland. So u.a. auf dem Siemens und Halske-Werksgelände in Berlin Charlottenburg oder auf einer 1,8 km langen Straßenbahnstrecke zwischen Gross-Lichterfelde und Zehlendorf. Ab 1903 wurde die 23 km lange Militärbahn zwischen Marienfelde und Zossen unter Dreiphasenstrom 10 kV 45 Hz elektrifiziert. Auf dieser Strecke fanden am 23. und 27. Oktober 1903 die berühmten Geschwindigkeitsrekorde mit bis zu 210,2 km/h statt. Der Drehstrom hatte seine Tauglichkeit als Bahnstrom erfolgreich unter Beweis gestellt, allerdings scheuten viele Bahnen die dafür notwendigen komplexen mehrpoligen Fahrleitungsanlagen und die Abhängigkeit der Drehzahlen von der Frequenz.

Während man in Deutschland sich deshalb dem Einphasenwechselstrom mit einer nur einpoligen Oberleitung zuwendete, wurde in der Schweiz weiter experimentiert.

Drehstromlok De 2/2 Nr. 1 der Burgdorf - Thunbahn (1899) am 9. April 2006 im Bahnhof Freilassing. Die Lok steht heute in der Lokwelt Freilassing. Ebenfalls erhalten ist die Lok 2 im Verkehrshaus Luzern. (HS)



Dank der Studien von Brown Boveri & Cie (BBC), die im Gegensatz zur Maschinenfabrik Oerlikon (MFO), felsenfest daran glaubten, dass Drehstrom die Zukunft der Eisenbahnelektrifizierung bedeutet, wurden weitere Probestrecken mit dieser Speisungsart ausgerüstet. Nach den erfolgreichen Versuchen mit der Straßenbahn von Lugano (400 V 40 Hz) im Jahr 1895 wurden hauptsächlich Steilstrecken elektrifiziert:

- Die Gornergratbahn ab dem 20. August 1898; 9,3 km; 725 V 50 Hz.
- Die Jungfraubahn ab dem 20. September 1898; damals 4 km; 650 V 40 Hz.
- Die Stanstadt - Engelbergbahn ab dem 5. Oktober 1898; 19 km; 750 V 33 Hz.
- Die Burgdorf - Thunbahn ab dem 21. Juli 1899; 40 km; 750 V 40 Hz.

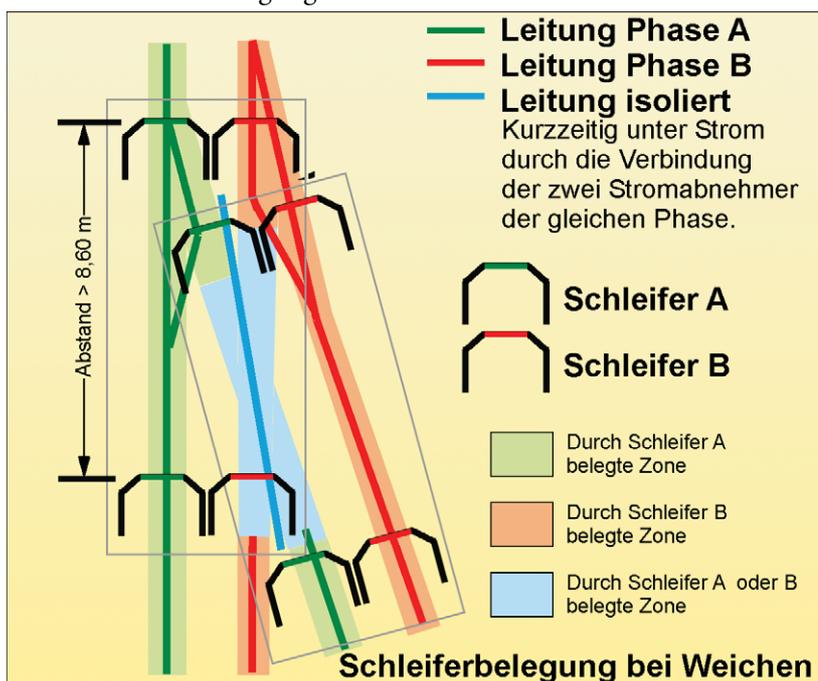
Obwohl Drehstrom für diese Versuche eine gute Eignung für die Speisung von Eisenbahnfahrzeugen ergaben, waren die „Straßenbahnspannungen“ von höchstens 750 V zu niedrig für eine Anwendung auf längeren Strecken. So wies die Burgdorf - Thunbahn beispielsweise zur Speisung vierzehn Unterwerke auf – alle 3 Kilometer eines!

Vor- und Nachteile der Drehstromtechnik

Während Gleichstrom ständig in eine Richtung fließt, ändert Wechselstrom periodisch (meist sinusförmig zwischen dem positiven und dem negativen Maximalwert) die Richtung und Stärke. Auf diese Weise sind Spannung und Strom zu keiner Zeit konstant. Die Frequenz mit denen der Wechselstrom pro Sekunde zwischen den Maximalwerten schwingt, wird in Hertz (Hz) angegeben. Eine Frequenz von 50 Hz bedeu-

Die komplizierte Fahrdrabtgeometrie an einer Weiche. (HS)

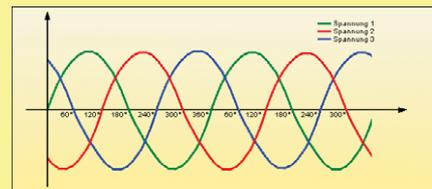
tet beispielsweise, dass der Wechselstrom 100 Mal in der Sekunde seine Richtung ändert. Werden mehrere Wechselströme mit gleicher Frequenz und Stärke gegeneinander phasenverschoben (d.h. zeitlich versetzt eingespeist), so entsteht ein Mehrphasenstrom. Bei drei Wechselströmen, die jeweils 1/3 der Periode phasenverschoben sind, spricht man von Dreiphasenstrom. Im Gegensatz zum Einphasenwechselstrom benötigt der Dreiphasenwechselstrom zwei Fahrdrähte, während die Gleise als dritte Leiter genützt werden. Diese zweipolige Oberleitung stellte den Betrieb vor größere Probleme. So mussten beispielsweise die Phasen an Weichen voneinander isoliert werden, was die Oberleitungsgeometrie nicht vereinfachte. Die Aufhängungen im Bahnhofsvorfeld waren zum Teil so



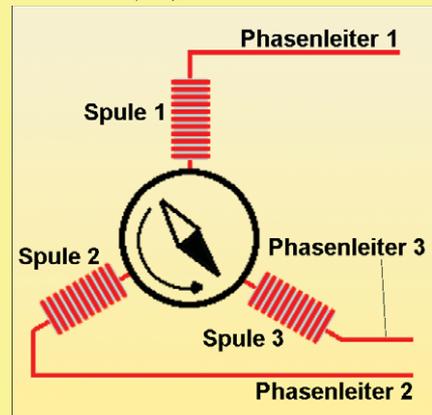
Der Drehstrom-Asynchron-Motor

Der erste Drehstrom Asynchronmotor wurde 1889 von Michail von Dolivo-Dobrowolsky gebaut. Dabei speiste er drei in einem Ständer (auch Stator) angeordnete Elektromagnet-Spulen mit je einer der um 120 Grad versetzten Leiterspannungen des Drehstroms. Auf diese Weise erzeugte er in jeder Spule ein Magnetfeld, dessen zeitlicher Ablauf dem der Spannung entspricht und ebenfalls um eine Drittelperiode versetzt ist. Durch die Anordnung im Kreis summieren sich diese drei Magnetfelder in der Art, dass das Magnetfeld eine gleichbleibende Größe aufweist. Die Richtung des Magnetfelds ändert sich dabei in Einklang mit der Frequenz des Drehstroms. Das summierte Magnetfeld "dreht" sich also mit der Geschwindigkeit die durch die Frequenz vorgeben ist. Bei einer Frequenz von 50 Hz dreht sich das Magnetfeld also ebenfalls 50 mal in der Sekunde um sich selbst. Auch ein mittig in das rotierende Magnetfeld eingebrachter magnetischer Gegenstand "Rotor" wird mitgedreht.

Dreht sich der Rotor mit der exakt gleichen Drehzahl wie das Drehfeld so spricht man von Synchronmotor, während ein Rotor, der eine vom Drehfeld unterschiedliche Frequenz aufweist, als Asynchronmotor bezeichnet wird. Bei den Asynchronmotoren bestehen die Spulen im Rotor (Läufer) aus kurzgeschlossenen Leiterschleifen (deshalb auch als Kurzschlussläufermotor bezeichnet). Durch das sich ändernde Magnetfeld des Ständers wird nun in den kurzgeschlossenen Leiterschleifen des Rotors ein Stromfluss induziert, der wiederum ein Magnetfeld schafft, das dem verursachenden Magnetfeld entgegen gerichtet ist. Dadurch dreht sich der Rotor geringfügig langsamer als das Statorfeld. Nur dadurch ist gewährleistet, dass sich das Magnetfeld innerhalb des mitdrehenden Rotors ständig ändert. Bei Gleichlauf von Rotor und Drehfeld findet dagegen keine Induktion statt und das übertragbare Drehmoment ist Null. Die Anzahl der Spulen des Läufers ist also in Asynchron-Motoren ungleich der Anzahl der Spulen des Ständers.



Dreiphasenwechselstrom: Die einzelnen Spannungen sind hier um jeweils 60 Grad verschoben. (HS)



Die Sternschaltung mit drei Spulen erzeugt ein Drehfeld. (HS)

kompliziert, dass die Weichen abgebügelt befahren werden mussten. Zudem erforderten hier die Lokbügel eine niedrigere Geschwindigkeit (meistens 50 km/h).

Lokomotiven mit induktiven Fahrmotoren, die via Stange direkt mit den Antriebsachsen verbunden waren, forderten eine niedrige Frequenz zwischen 15 und 16 2/3 Hz um die Drehgeschwindigkeit der Treibachsen unter Kontrolle zu halten. Trotz dieser Schwierigkeiten kam es Anfang des 20. Jahrhunderts zu verschiedenen Versuchsbetrieben in Deutschland, in der Schweiz, in Italien, in Ungarn und selbst in den Vereinigten Staaten, wobei mit Frequenzen zwischen 15 und 50 Hz und Fahrdrachtspannungen zwischen 3 und 10 kV experimentiert wurde. Diese Entwicklung zeigt, dass man die komplizierte Oberleitungsgeometrie zunächst für nebensächlich gehalten hat. Die Vorteile der einfachen Fahrdrachtspeisung, der befriedigenden Leistung und einer Nutzbremse auf Steilstrecken, wo diese Speisungsart anfänglich Verwendung fand, überwogen. Die Unterwerke umfassten einfache Dreiphasentransformatoren. Weil die Induktion elektromagnetische Felder verur-

sacht, musste der Zwischenabstand zwischen den beiden Fahrleitungen zur Vermeidung von Interferenzen ungefähr 50 bis 60 cm betragen. Die Leitungen waren mechanisch nicht gespannt und die Masten im Abstand von 30 bis 35 Metern aufgestellt. Lag die zugelassene Geschwindigkeit bei 100 km/h wurde ein Tragseil verwendet.

Ein weiteres Problem von Drehstromfahrmotoren ist die Tatsache, dass sich die Drehgeschwindigkeit nach der eingespeisten Frequenz richtet. Eine konstante Frequenz hat auch eine konstante Drehgeschwindigkeit zur Folge. Aus diesem Grund können diese Lokomotiven auch nur bestimmte Geschwindigkeiten fahren (sog. "Synchrongeschwindigkeit"). Um dennoch eine ruckartige Beschleunigung von z.B. 25 km/h auf 50 km/h zu vermeiden, behalf man sich mit zwei verschiedenen Schaltungen:

- Bei der "Kaskadenschaltung" speist der Läufer des Fahrmotors 1 den Ständer des Fahrmotors 2. Auf diese Weise spielt der Ständer des Fahrmotors 1 die Rolle eines Transformators für den Fahrmotor 2, so dass beide Fahrmotoren unter halber Leistung funktionier-

ten. Auf diese Weise waren zwei Synchrongeschwindigkeiten möglich. Um höhere Synchrongeschwindigkeiten für den Reisezugdienst zu erreichen, behalf man sich eines Tricks. Ein Fahrmotor mit 24 Spulen ermöglicht die Arbeit mit zwei Polzahlen:

a) Acht Pole unter Drehstrom: $8 \times 3 = 24$.

Die Umwandlungsgeschwindigkeit des Fahrmotors berechnet sich dann als:

$$U/\text{min} = 2 \times 60 \times 16,67 \text{ Hz} / 8 \text{ Pohlen} = 250 \text{ U/min.}$$

Die Geschwindigkeit der Lok ist demzufolge:

$$\text{Radsatzumfang} \times U/\text{min} \times 60 / 1000 =$$

$$(\text{Radsatzdurchmesser} \times p) \times U/\text{min} \times 60 / 1000$$

oder

$$(1,63 \times p) \times 250 \times 60 / 1000 = 76,8 \text{ km/h}$$

b) Bei Umwandlung von Dreiphasenstrom auf Vierphasenstrom konnten die Fahrmotoren auch mit sechs Polen funktionieren; $6 \times 4 = 24$.

Die Umwandlungsgeschwindigkeit des Fahrmotors berechnet sich dann als:

$$U/\text{min} = 2 \times 60 \times 16,67 \text{ Hz} / 6 \text{ Pohlen} = 333 \text{ U/min.}$$

Die Lokgeschwindigkeit wurde demzufolge:

$$(1,63 \times p) \times 333 \times 60 / 1000 = 102,4 \text{ km/h}$$

Wenn man eine Toleranz von 2 % in Betracht zieht beträgt die wirkliche Synchrongeschwindigkeit 75,3 km/h (abgerundet 75 km/h) und 100,4 km (abgerundet 100 km/h).

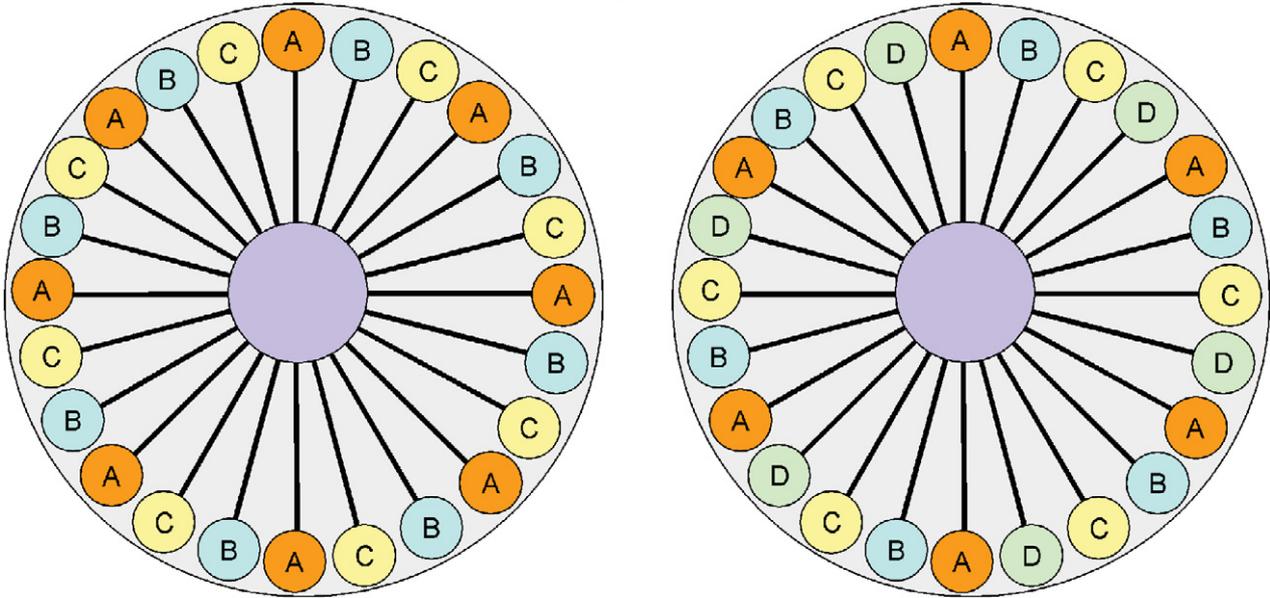
Das abgebildete Schema zeigt deutlich, wie die Fahrmotoren bei einer Änderung der Polzahl funktionierten. Diese Technik kam in erster Linie bei Reisezugloks zur Anwendung, da die Kaskadenschaltung eine sehr schnelle Beschleunigung aufweist.

- Bei der Parallelschaltung wird der Übergang von einer Geschwindigkeit zur anderen mit regelbaren Widerständen durchgeführt, die die abgenommene Stromstärke während des Geschwindigkeitsübergangs reduzieren. Ursprünglich waren diese Widerstände ein Fass mit Elektroden in einer Kohlesäure-Wasserlösung (Sprudelwasserlösung). Je nachdem wie der Lokführer das Wasserniveau regelte, hielten die Widerstände wenig oder mehr Strom zurück, wodurch der Übergang von einer Geschwindigkeit zur anderen einigermaßen stoßfrei absolviert werden konnte. Die Wasserwiderstände selber waren ebenfalls wassergekühlt, was bei großer Hitze dafür sorgte, dass diese Loks "dampften". Zudem musste – insbesondere im Sommer - regelmäßig Wasser nachgefüllt werden. Für den Eisenbahnfan boten diese dampfenden Elloks ein ku-

Diese Aufnahme der E.432.009 am 10. Mai 1976 in Cantalupo zeigt wie kompliziert die Drehstrom-Oberleitung insbesondere bei Weichen ist. Der Zylinder auf dem Vorbau ist ein Kamin, aus dem überhitzter Wasserdampf der Widerstandskühlung austrat. (Franco Dell'Amico)



(l.) Dreiphasenstrom über 8 Pole ($8 \times 3 = 24$) und (r.) Vierphasenstrom über 6 Pole ($6 \times 4 = 24$) (Schema: Silvia Adorno)



rieses Schauspiel. Doch damit hörten die Parallelen zum Dampflokbetrieb nicht auf – in Bahnhöfen waren oft Lokführer mit Ölkannen zu beobachten, die die Antriebe der Loks schmierten.

Bei heutigen Drehstromloks ist eine variable Frequenz elektronisch gesteuert.

Die “festen” Geschwindigkeiten aufgrund der konstanten Drehgeschwindigkeit der Fahrmotoren hatte auch Folgen für den Betrieb. So waren Doppeltraktionen oder Mehrfachsteuerungen nur möglich, wenn die betroffenen Loks dieselbe Synchrongeschwindigkeiten hatten. Weiterhin waren gleiche Radsatzdurchmesser erforderlich, weshalb alle Drehstromloks Radsätze mit 1,07 m Durchmesser für Güterzugloks und 1,63 m Durchmesser für Reisezugloks aufweisen. Obwohl die meisten Loktypen keine Mehrfachsteuerung besaßen, konnten damit dennoch verschiedene Loktypen in

Doppeltraktion eingesetzt werden. Dabei musste allerdings darauf geachtet werden, dass der Unterschied infolge von Verschleiß so gering wie möglich blieb. Fuhren eine Lok mit neuen Radsätzen und eine Lok mit abgenutzten Radsätzen gemeinsam einen Zug, so zog die erste Lok während die zweite bremste. Alle Loks waren ja mit einer Nutzbremse ausgerüstet, die sich automatisch einschaltete wenn die Synchrongeschwindigkeit überschritten wurde. Daran konnte auch niemand etwas ändern, es sei denn man schaltete alles ab, was die Doppeltraktion aber komplett sinnlos machte.

Ein weiteres Problem stellte sich durch die Stromaufnahme. Ursprünglich wurden dabei – ähnlich wie bei Straßenbahnen – Stangen mit Rädern eingesetzt, die aber zur “Entgleisung” neigten. Ab 1910 kamen dann Bügel des Systems Brown-Boveri zur Anwen-

Spartanische Führerstände: Links der der Reihe E.333 und rechts der einer E.432 (beide Fotos: Giorgio Stagni)



dung und ab 1928 wurden doppelte Stromabnehmern eingeführt. An Weichen, wo beide Fahrleitungen sich kreuzten, gab es eine spannungslose Zone von mindestens 8,60 Meter. Aus diesem Grund mussten Loks, um eine Spannungsunterbrechung zu vermeiden, immer mit beiden Bügeln am Fahrdraht fahren. Da der Abstand beider Bügel auch größer als 8,60 Meter sein musste, wiesen kürzere Loks oft eigentümlich nach vorne gestreckte Stromabnehmer auf.

Erste Elektrifizierungsprojekte

a) Die Veltlin-Bahn (Valtellina-Bahn)

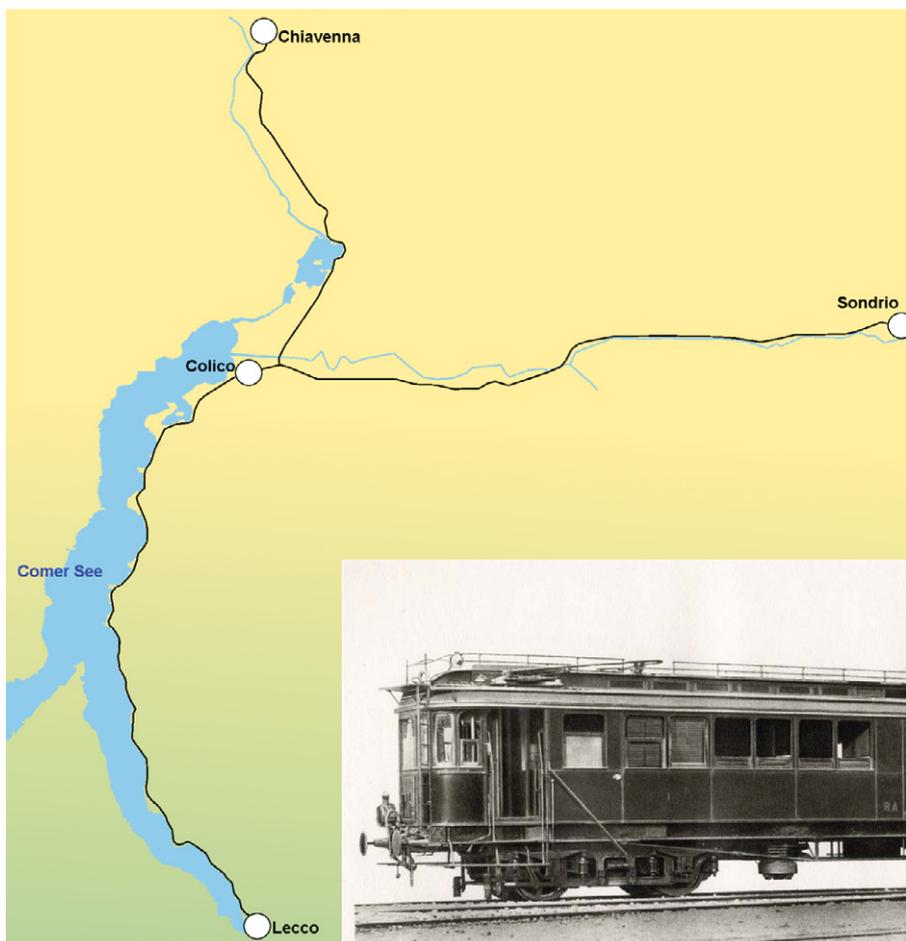
Die Drehstromtechnik versprach insbesondere im Gebirge Vorteile. Allerdings wollte man zunächst erst mal eine Nebenbahn als Test elektrifizieren. Ab 1897 gab es erste Gespräche zur Elektrifizierung der 106 Kilometer langen Strecke zwischen Lecco und Chiavenna (65 km) mit Abzweig von Colico nach Sondrio (41 km) am Ostufer des Comer Sees. Diese Strecke der Rete Adriatica bot sich als erste Teststrecke an, da sie eingleisig (mit wenig Weichen) war und Kurvenradien bis 300 Meter und Steigerungen bis 20 Promille aufwies. Da die schweizerische Spannung von 750 V als komplett unzureichend angesehen wurde, wandte man sich an den ungarischen Hersteller Ganz,

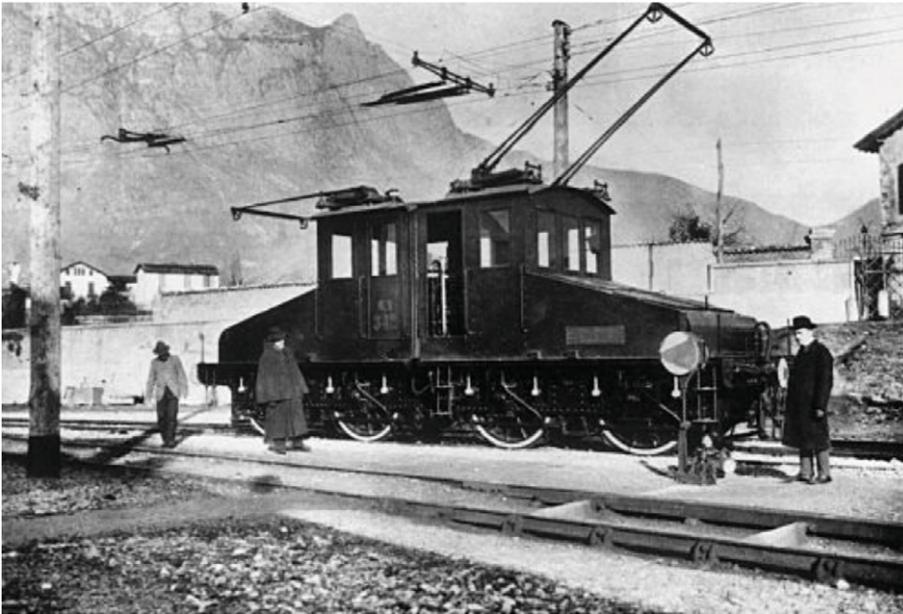
bei dem der noch junge Oberingenieur Kálmán Kando (1869-1931) mit der neuen Drehstromspeisung beschäftigt war. Dieser legte für die Valtellina-Bahn eine Fahrdrachtspannung von 3000 V bei einer Frequenz von 15 Hz fest, die direkt in die Fahrmotoren gespeist werden sollte. Zur Sicherheit wurde im Budapester Werk auch eine ein Kilometer lange Versuchsstrecke errichtet, auf der ein auf dem Untergestell eines für die Valtellina-Bahn vorgesehenen Triebwagens montiertes Versuchsfahrzeug zu Prüfzwecken eingesetzt wurde. Die Größe der Treibachsen wurde auf 1,07 Meter für eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h festgelegt. Die Fahrmotoren waren an den Treibachsen befestigt, wobei der Antrieb über Stangen erfolgte. Nachdem die Tests erfolgreich verliefen begann der Bau der Fahrleitungen und Anlagen in Norditalien. Für die Speisung der Unterwerke wurde in Morbegno ein hydro-elektrisches Kraftwerk mit 6000 kVA Leistung und 20 kV Spannung gebaut – für die damalige Zeit außergewöhnliche Werte. Die Unterwerke waren mit einfachen Dreiphasentransformatoren (20 kV / 3,4 kV mit 340 kVA Leistung) ausgestattet worden und lagen ungefähr 10 km voneinander entfernt. Die Elektrotraktion konnte am 15. Oktober 1902 in Betrieb genommen werden. Mit dem Gesetz zur Verstaatlichung der Italienischen Eisenbahnen ging die Bahn 1905 in Staatseigentum über.

Das Rollmaterial wurde von dem ungarischen Hersteller MKAG (Magyar Kiraly

links: Streckenverlauf der Veltlin-Bahn in Norditalien (HS)

unten: Triebzug RA 324 der Rete Adriatica. Der Zug kam 1905 zur FS und wurde dort als E 24 bezeichnet. (Sammlung Claudio Vianini)





*Lokomotive RA 34.2 der Rete Adriatica kurz nach der Auslieferung. Gut zu sehen sind die Räder des Stromabnehmers.
(Dokument FS)*

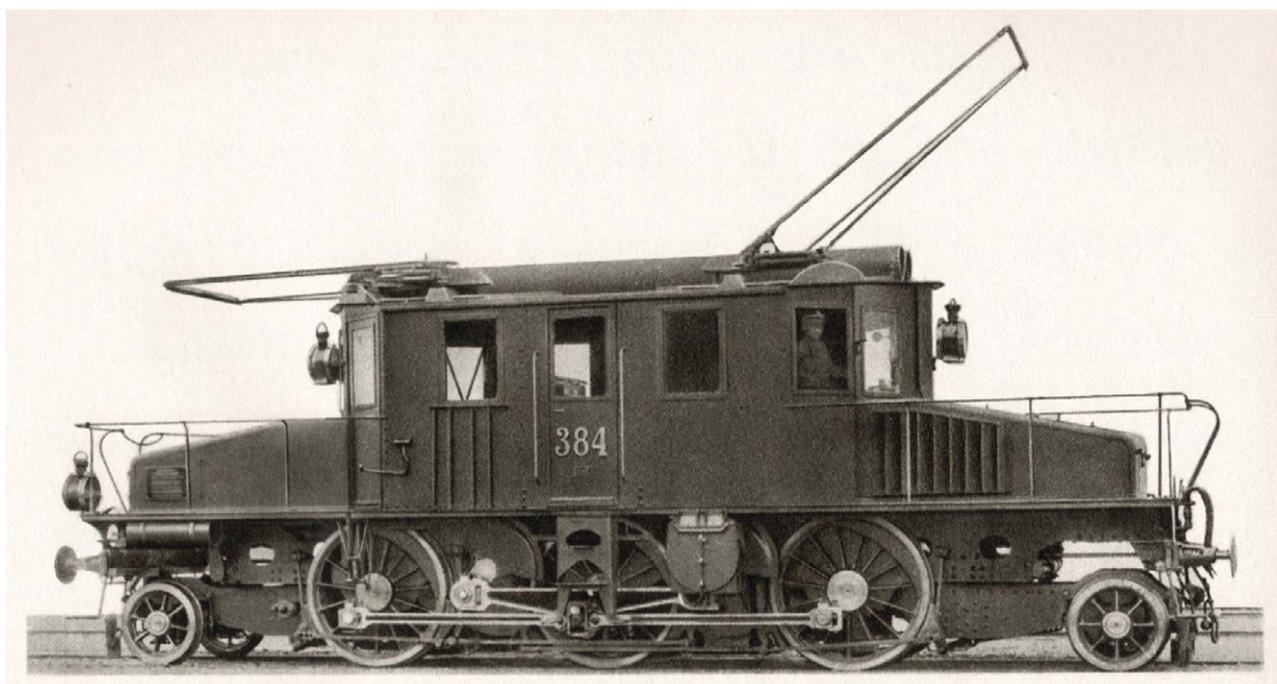
Allamvasutak Gepgyara) und Ganz gebaut. Für den Personenverkehr wurden 1901/1902 zehn Elektrotriebzüge geliefert, die bei der FS als E 1 bis E 5 und E 21 bis E 25 bezeichnet wurden, bei der Rete Adriatica als RA 301-305 und RA 321-325 liefen. Die vier Fahrmotoren leisteten 440 kW für eine Höchstgeschwindigkeit von 66 km/h. Der einzige Unterschied zwischen beiden Unterbaureihen lag in der Inneneinrichtung. Während die E 21 bis E 25 jeweils 56 Plätzen in 1. und 3. Klasse boten, waren die E 1 bis E 5 als Salonwagen mit 24 Plätze der 1. Klasse ausgestattet worden. Der Luxus dieser Züge war dabei so groß, dass das Mobiliar nach der Abstellung im Jahr 1923 nach Rom geschickt wurde um dort in den Direktionslokalen der FS weiterverwendet wurde. Die Fahrmotoren der Triebzüge konnten sowohl "parallel" als auch in "Kaskade" geschaltet werden. Im letzteren Fall

speisten die Läufer der Fahrmotoren 1 und 3 die Ständer der Fahrmotoren 2 und 4. Nach der Abstellung im Jahr 1923 wurden die Fahrmotoren in den Jahren 1925 bis 1927 ausgebaut und die zehn Triebzüge anschließend als Beiwagen genutzt. Für den Güterverkehr hatte Ganz 1902 zwei Bo'Bo'-Lokomotiven geliefert, die anfänglich als 34.1 und 34.2, 1905 dann als 0341 und 0342, 1914 als 340.1 und 340.2 und später bei der FS als E.430.1 und E.430.2 bezeichnet wurden. Bei der RA liefen sie als RA 341 und RA 342. Mit einer Länge von 10,306 Metern und eine Masse von 48,2 Tonnen leisteten sie 440 kW und hatten eine Höchstgeschwindigkeit von 36 km/h. Ihr Gelenkkasten war deutlich von den Doppelloks der Baltimore and Ohio inspiriert. Auf einer Steigung von 20 Promille konnten sie 300 Tonnen mit 15 km/h ziehen, was für diese Zeit ein eindrucksvoller Wert war. Die Reihe E 430 war die einzige Dreiphasenlokomotive, die nicht mit Kuppelstangen angetrieben waren. Der Antrieb erfolgte mittels "Tanzender Ringe". 1928 wurden sie nach Bozen umbeheimatet und im Rangierdienst eingesetzt. Ein Exemplar blieb der Nachwelt erhalten und befindet sich heute im Museo della Scienza e della Tecnica "Leonardo da Vinci" in Mailand.



Aufgrund der guten Entwicklung des Verkehrs, orderte die Rete Adriatica 1904 bei MKAG und Ganz drei weitere Loks mit der Achsfolge 1'C1'. Nach der Gründung der "Ferrovie dello Stato" (FS) am

Die E.430.001 blieb erhalten und steht heute im Museo della Scienza e della Tecnica in Mailand. Hier haben die Stromabnehmer zwei Bügel. (Aufnahme Giorgio Stagni)



Die 1906 ausgelieferte 1'C1' mit der Nummer 384. (Dokument FS; Sammlung Claudio Vianini)

15. Juni 1905 wurden diese neue Loks unter der FS-Bezeichnung 361 bis 363 abgeliefert. Bei einer Höchstgeschwindigkeit von 68 km/h leisteten sie 330 kW. Durch eine neue Schaltung, die die dauerhafte Änderung der Polzahl ermöglichte, waren bei 34 km/h sogar 845 kW möglich. Ein bedeutender Fortschritt gegenüber der alten ungarischen "Kaskadenschaltung". Weitere Neuerungen waren der Einbau von Zwischenstufen für die Geschwindigkeitsreglung beim Anfahren und eine elektrische Bremse durch das Vorschalten von Metallwiderständen.

1906 wurden diese drei Loks für den Betrieb auf der Simplonbahn an die SBB vermietet. Erst als die SBB genügend eigene Loks zur Verfügung hatte, kehrten die 361 und 362 im Mai 1907 und die 363 im Oktober 1907 zur Veltlin-Bahn zurück.

1906 lieferte Ganz dann vier noch leistungsfähigere Maschinen, die als 381 bis 384 bezeichnet wurden. Mit der Achsfolge 1'C1' und einer Gesamtmasse von

64,6 Tonnen entwickelten sie 1250 kW und eine Höchstgeschwindigkeit von 71,2 km/h. Anfänglich für Personenzüge vorgesehen, wurden zwei Loks 1918 durch Änderung des Übersetzungsverhältnisses für den Einsatz im Güterverkehr umgebaut. Mit einer dadurch reduzierten Höchstgeschwindigkeit von 46,2 km/h erhielten sie die neuen Nummern 391 und 392. Wenig erfolgreich wurden diese Loks aber schon 1920 ausgemustert.

1932 wurde die Elektrifizierung von Sondrio bis Tirano (26 km), dem Endpunkt der Berninabahn, verlängert. Von "Ferrovia Alta Valtelina" (FAV) betrieben wurden für diese Strecke ursprünglich zehn Loks bestellt, von denen aber nur vier gebaut wurden. Die drei ersten von CEMSA, die vierte von OM und TIBB. Als E.440 bezeichnet erhielten sie die Achsfolge D und waren damit die einzigen Dreiphasenloks mit dieser Achsfolge. Aufgrund des zu langen Gesamtachsstandes war die vierte Achse 40 mm seitenschiebbar ausgeführt. Die Loks hatten nur einen Fahrmotor mit 1000 kW Dauerleistung. Ihre Höchstgeschwindigkeit lag bei 50 km/h. Nach der Einstellung des Drehstrombetriebes auf dieser Kurzstrecke im Jahr 1967, erfolgte die Abstellung. Die E.440.3 wurde restauriert und wird im Museo Nazionale Ferroviario in Pietrarsa in der Nähe von Neapel museal erhalten. Die Strecke wurde 1970 von den FS übernommen und 1980 mit 3 kV Gleichstrom wieder elektrifiziert.

Die Lokomotiven der Rete Adriatica/Veltlin-Bahn		
RA-Nummer	341-342	361-363
FS-Nummer	E.430.001 - 002	E.360.001 - 003
Hersteller	Ganz & Co. MKAG	Ganz & Co. MKAG
Stückzahl	2	3
Baujahr	1902	1904
Spurweite	1435 mm	
Fahrleitungsspannung	Drehstrom 3000 V / 15 Hz	
Ausmusterung	bis 1928	bis 1930
Achsformel	Bo+Bo	1'C1'
Länge über Puffer	10.306 mm	11.540 mm
Dienstmasse	48 t	62 t
Höchstgeschwindigkeit	33 km/h	33 / 66 km/h
Dauerleistung	440 kW	600 kW
Anzahl der Fahrmotoren	4	2 Doppelmotoren

b) Die Simplonbahn

Als am 1. August 1898 der erste Spatenstich des Sim-

plontunnel stattfand dachte noch niemand daran, diese Strecke zu elektrifizieren. Zwar dachte man schon damals an die gigantischen Lüftungsprobleme bei dem sechzehn Jahre zuvor in Betrieb genommenen Gotthardtunnel, eine Elektrifizierung von 19,8 km ohne Unterwerke war damals aber noch Utopie. Selbst ein Jahr vor der Eröffnung dachten die Betreiber nicht ernsthaft an die elektrische Traktion, obwohl die Elektrifizierung seit 1898 deutliche Fortschritte gemacht hatte. Nach den deutschen Rekordfahrten im Jahr 1903 propagierten die Hersteller BBC und MFO "dass ein erfolgreicher elektrischer Betrieb im längsten Tunnel der Welt als Teilstück einer neuen internationalen Alpentransitbahn notwendig war." Im Herbst 1905 unterbreitete BBC dann den SBB den Vorschlag den Simplontunnel auf eigene Kosten zu elektrifizieren und die benötigten Lokomotiven zur Verfügung zu stellen. Das Angebot war verlockend, so dass die SBB mit der BBC am 19. Dezember 1905 einen Vertrag zur Elektrifizierung des Simplontunnels mit Dreiphasenstrom 3300 V 16 2/3 Hz unterschrieb. Für die leer ausgegangene MFO war bereits in einer früheren Übereinkunft vom 11. und 22. November 1904 die Elektrifizierung der Strecke Seebach - Wettingen unter Einphasenstrom mit anschließendem kommerziellen Betrieb abgeschlossen worden.

Obwohl Brown Boveri & Co auf dem ersten Blick als Gewinner des "Deals" erscheint, nahm die Firma doch ein recht riskantes Vorhaben in Angriff. BBC hatte bis dahin nämlich keine Erfahrung mit Drehstrom unter Hochspannung, und der Bau von Unterwerken im Tunnel war ausgeschlossen. Im Sommer 1905 unternahm eine Gruppe von Experten der SBB und der BBC eine Studienreise nach Norditalien, wo man sich von Ganz die Kraftwerksanlagen, die elektrische Installationen und das Rollmaterial vorführen ließ. Dennoch war ein Wunder notwendig, damit die BBC innerhalb der Jahresfrist sowohl die Energielieferung und Verteilung als auch die Fahrleitungen und vor allem das Rollmaterial fertigen

hätte können. Dieses Wunder ermöglichten schließlich die Italiener, die die drei 1'C1'-Loks der Veltlinbahn an die BBC/SBB vermieteten und zudem den Ankauf der eigentlich für die Veltlinbahn bestimmten, bei SLM und BBC im Bau befindlichen Loks Fb 3/5 364 und 365 ermöglichten.

Zur Eröffnung des Simplontunnels am 1. Juni 1906 standen damit fünf Loks zur Verfügung, von denen drei den FS und zwei der BBC gehörten. Dennoch traute man der neuen Traktion nicht ganz – die Luxuszüge wurden von Dampfloks bespannt. Für diese Strecke bauten die SLM und BBC noch fünf weitere Loks. Die wichtigste Daten aller Simplonloks sind in der Tabelle zusammengefasst.

Nachdem die SBB ab 1907 vier eigene Dreiphasenloks zur Verfügung hatten, wurden gemietete Loks 361 bis 363 an die FS zurückgegeben und wieder im Veltlin eingesetzt.

Vor allem der Kohlemangel trieb die SBB in der Folge an, die Elektrifizierung bis Sion zu verlängern (54 km; Inbetriebnahme am 31. Juli 1919). Zudem war vorgesehen den Fahrdraht bis Genf und Vallorbe an der französische Grenze auszubauen. Im Süden sollte der Drehstrom irgendwann bis Mailand reichen. Doch dazu kam es nie. Als letzte Dreiphasenstrecke wurde der Simplon II - Tunnel am 16. Oktober 1922 in Betrieb genommen. Der Zukunft gehörte dem Einphasenstrom 15 kV 16 2/3 Hz, der Brig seit dem 15. Juli 1913 (BLS) und Sion seit dem 12. Dezember 1923 erreicht hatte. Am 15. Januar 1927 wurde deshalb auch die Strecke Sion - Brig umgeschaltet. Die beiden Tunnelröhren des Simplontunnels folgten dann am 2. März 1930. Zum selben Datum wurde die Elektrifizierung mit Einphasenstrom auch bis Domodossola verlängert, da es in der Diveria-Schlucht keinen Raum gab, um die notwendigen Bahnanlagen für Lokwechsel und Zollbeamte zu bauen. Die 300 Meter Höhenunterschied zwischen Iselle di Trasquera und Domodossola sorgten dabei für Steigungen bis 25 Promille.

(Fortsetzung in LV 65)

Die Lokomotiven der Simplon-Bahn

Simplon	Bezeichnung	Ae 3/5 361-363	Ae 3/5 364 – 365	Ae 4/4 366 - 369	Ce 4/6 371
	Urspr. Bezeichnung	-	Fb 3/5 364 – 365	Fb 4/4 366 – 369	Fb 4/6 371
	Baujahr	1905	1906	1907 / 1919 ¹⁾	1913
	Hersteller	MKAG / Ganz	SLM / BBC	SLM / BBC	SLM / BBC
	Achsfolge	1'C1'	1'C1'	D	1'D1'
	Länge ü. P. (mm)	11.540	12.320	11.640	12.500
	Gewicht (Tonnen)	64	62	68	86
	Synchronegeschwindigkeit (km/h) ²⁾	36 / 71	37 / 74	28 / 37 / 56 / 74	28 / 37 / 56 / 74
	Stundenleistung (kW)	600	780	1200	2000
	<p>1) 366 und 367: Baujahr 1907; 368 und 369: Baujahr 1919, gebaut für die Weiterelektrifizierung bis Sion 2) Bei Betrieb mit 16 2/3 Hz</p>				

Drehstrom in Italien

1902-1976

Teil 2



Der „Giovimaulesel“ E.550.050 im Jahr 1916 mit einem sehenswerten Personenzug in Albisola (Strecke Genua - Savona). (Dokument FS; Sammlung Gianfranco Ferro)

In der Zeit bis zum 2. Weltkrieg wuchs das Dreiphasen-Netz der italienischen Staatsbahn deutlich an. Dabei war vor allem das nordwestliche Italien betroffen.

Das erste Programm

Im Jahr 1906 trat die FS-Leitung mit dem Ingenieur Riccardo Bianchi (1854 - 1936), der bereits bei den ersten Elektrifizierungen der Veltlinbahn und der Simplonstrecke involviert war, in Verbindung und bat ihn ein Elektrifizierungsprogramm auszuarbeiten. Die ersten Bauarbeiten sollten im Jahr 1911 beginnen. Man kann hier allerdings kaum von einem zusammenhängenden Gesamtprogramm sprechen: Vielmehr waren die Strecken entsprechend ihrem Profil und der Verfügbarkeit hydro-elektrischer Kraftwerke in der Nähe ausgewählt worden. So wurden beispielsweise in Piemont an erster Stelle die Steilstrecken rund um Genua sowie die Frejusbahn nach

Modane und die Strecke Savona - Ceva ausgewählt. Weiter nördlich wurde die Verlängerung der Veltlinbahn von Sondrio bis Monza und Mailand sowie die Weiterelektrifizierung der Simplonbahn von Iselle di Trasquera bis Domodossola und Mailand geplant. Weiter südlich zog man die „Porrettana“ Bologna - Pistoia (die historische Strecke Bologna - Firenze; obwohl bereits seit 1888 geplant wurde die „Direttissima“ durch den Apenninentunnel erst am 28. April 1934 in Betrieb genommen), sowie die Strecke Neapel - Salerno in Betracht. Dagegen konnten Bergstrecken wie die Brennerbahn und die Tarvisbahn nicht ins Programm aufgenommen werden, da sie zu diesem Zeitpunkt noch zu Österreich-Ungarn gehörten.

Schon 1908 war entschieden worden die Steilstrecken vom Hafen in Genua zum Verschiebebahnhof Genova-Sampierdarena so schnell wie möglich unter Fahrdracht zu bringen.

Der Giovipass

Wenn ein Zug den Bahnhof Genova-Piazza Principe in Richtung Mailand oder Turin verlässt, muss er auf den ersten 15 km der alten Giovipass-Strecke (Pontedecimo - Piano Orizzontale dei Giovi - Giovi Tunnel - Busalla) Steigungen von 29 bis 35 Promille bewältigen. Nur etwa 15 Kilometer von Genua entfernt befindet sich das Südportal des 3250 Meter langen Tunnels unter dem "Passo dei Giovi" (dt. Giovipass). Die beiden Strecken ab Genua sind bis hierhin bereits auf 360 Meter über N.N. geklettert. Aufgrund des schweren Profils und der zahlreichen Tunnel wurde 1908 entschieden, beide Strecken (die "schnelle" und die "langsame") zwischen Genua und Ronco Scrivia, 28 km von Genua entfernt und 334 Metern über N.N., unter Dreiphasenstrom 3600 V 16 2/3 Hz zu elektrifizieren.

Die Bauarbeiten begannen im Jahr 1909, wobei der Güterstrecke Vorrang gegeben wurde. Dort konnte die Elektrotraktion am 1. Mai 1911 in Betrieb genommen werden. Im Anschluss widmete man sich den Schnellstrecken und den verschiedenen Verbindungen zwischen beiden Strecken. Am 15. Mai 1916 konnte schließlich das gesamte Netz vollständig in Betrieb genommen werden.

Für diese Steilstrecke wurden ab 1908 Lokomotiven der Reihe E.550 mit fünf gekuppelten Treibachsen gebaut. Bei einer Gesamtmasse von 63 Tonnen leisteten sie 1500 kW. Ihre Höchstgeschwindigkeit lag bei 50 km/h. Wegen des zu großen Gesamtachstandes hatten die Räder der mittleren Achse keine Spurkränze. Auf 35 Promille Steigungen konnte eine Lok 190 Tonnen ziehen - 380 Tonnen konnten mit einer Schiebelok befördert werden. Mit zwei Schubloks waren sogar 530 Tonnen mit 50 km/h möglich.

Zum Vergleich: Die kräftigsten Dampfloks zogen 130 Tonnen mit 25 km/h. Diese für diese Zeit erstaunliche Zugkraft brachte der Reihe E.550 den Spitznamen "Mulo dei Giovi" ("Giovimaulesel") ein.

Zwischen 1908 und 1921 lieferte die Società Italiana Westinghouse 186 Loks dieser Reihe an die FS. 1955 wurden die ausgemusterten E.550.086 und 115 mit Schneepflügen ausgerüstet und in Vnx 806.201 und 202 umgezeichnet. Nach Ausmusterung der letzten Loks im Jahr 1961 wurden 13 weitere Loks mit Schneepflügen ausgestattet und in Vnx 806.210 bis 222 umgezeichnet. Die Vnx 806.215 wurde erst im Januar 2010 - nach fast 100 Dienstjahren - außer Betrieb genommen. Es ist aber nicht ganz klar, um welche E.550 es sich hier genau handelt. Die E.550.030 wird der Nachwelt erhalten und befindet sich im Museo della Scienza e della Tecnologia in Mailand.

Das Netz wächst

Zwischen 1910 und 1915 werden zwei weitere Relationen mit schwierigem Profil unter Fahrdracht gebracht: die Steilstrecke Savona - Ceva (45,5 km) und die Frejusstrecke zwischen Bussoleno und Modane mit dem 13.657 m langen Mont-Cenistunnel (61 km; fertiggestellt am 20. Mai 1915). 1916 folgte die Strecke Genua - Savona (39 km) und 1917 wurde die Einzelstrecke Turin - Torre Pellice sowie der Abzweig Bricherasio - Barge (insgesamt 67 km) in West-Piemont mit Dreiphasen-Wechselstrom elektrifiziert.

Für das Rollmaterial hatte die Società Italiana Westinghouse 1905 eine neue Niederlassung in Vado Ligure, in der Nähe von Savona, gegründet. Zunächst wendete Westinghouse noch die ungarische Kando-

technik an, dies änderte sich 1922 als Brown Boveri die Fabrik übernahm und die TIBB (Tecnomasio Italiano Brown Boveri) gründete. (Auch heute gibt es diese Lokfabrik noch. Mittlerweile von Bombardier übernommen werden hier nun Traxx DC produziert.)

Schneepflug Vnx 806 215 am 21. August 2010 gut versteckt in Arvier. Dahinter verbirgt sich eine ehemalige E.550, die 1961 umgebaut wurde. (Silvia Adorno)



Auch andere italienische Hersteller, wie Savigliano in Turin, Breda in Mailand und selbst Nicola Romeo aus Saronno (später Alfa-Romeo) bewarben sich, um elektrische Triebfahrzeuge an die FS liefern zu dürfen.

Bald bestand Bedarf an schnelleren und leistungsfähigeren Lokomotiven. Bisher hatte man sich vor allem auf schwere Güterzüge konzentriert, doch mit Ausbau des elektrifizierten Netzes in Piemont-Liguria wurden auch Schnellzugloks benötigt. Im August 1914 erschien als erster Vertreter die 0309, die spätere E.330.009. Mit einer Achsfolge 1'C1' hatte sie eine Gesamtmasse von 73 Tonnen und eine Reibungsmasse von 51 Tonnen. Die zwei Fahrmotoren entwickelten eine Dauerleistung von 2000 kW für eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Die drei gekuppelten Treibachsen wurden mit Stangen angetrieben. Wegen ihres erhöhten Aufbaus des Maschinerraums erhielten sie den Spitzname "il Cammello" (Das Kamel).

Die Baureihe E.330 umfasste 16 Lokomotiven. Die Firma Westinghouse führte unter Leitung von Kálmán Kando die Projektstudien durch und baute die elektrische Ausrüstung für alle Loks. Der Bau des mechanischen Teils wurde auf Westinghouse (8 Loks)

An der gleichen Stelle wie zuvor die E.550 und mit dem identischen Wagenanhang wurde im September 1916 die E.330.005 in Albisola aufgenommen. (Dokument FS; Sammlung Gianfranco Ferro)

und die Società Ernesto Breda aus Mailand (8 Loks) aufgeteilt. Alle Loks wurden zwischen August und November 1914 geliefert und waren die erste italienische Baureihe mit vier Synchrongeschwindigkeiten: 37,5, 50, 75 und 100 km/h. Zwischen 1914 und 1927 waren sie im Depot Lecco beheimatet. 1927 wurden einige Einheiten nach Livorno, die südlichste Ortschaft des Drehstromnetzes, umbeheimatet. 1952 wurde die ganze Reihe dann im Depot Alessandria konzentriert. Die letzten Exemplare wurden 1963 nach fast fünfzig Betriebsjahren ausgemustert. Die E.330.008 wird im Museo della Scienza e della Tecnologia in Mailand museal aufbewahrt.

Die guten Resultate des Dreiphasenstroms führten bei der FS in den Jahren 1912 und 1913 zu einer Großbestellung. Um das Monopol von Westinghouse zu brechen, wurden dabei im Frühjahr 1913 insgesamt 32 Personenzugloks der Reihen 030x (später E.330), 033x (später E.331) und 034x (später E.332) bei verschiedenen Unternehmen bestellt. Die Großbestellung ist im Kasten (n.S.) zusammengefasst. Die endgültige FS-Bezeichnung mit sechs Ziffern und dem voranstehenden "E" wurde 1917 eingeführt. Dabei zeigt die erste Ziffer immer die Anzahl der angetriebenen Achsen an, während die zweite die



Loks 1913	Lokbestellung der FS 1913						
	Bestellung	Hersteller	Anzahl	Achsfolge	Urspr. Bezeichnung	FS - Bezeichnung	Inbetriebnahme
	1912	Breda / Westinghouse	8	1'C1'	0301 - 0308	E.330.001 - 008	1914
	1912	Westinghouse	8	1'C1'	0309 - 0316	E.330.009 - 016	1914
	1913	Breda / BBC	18	2'C2'	0331 - 03318	E.331.001 - 018	1916 - 1920
	1913	CM Saronno	6	2'C2'	0341 - 0346	E.332.001 - 006	1917
	1912	Westinghouse	45	E	05041 - 05085	E.550.041 - 085	1913 - 1914
	1913	Westinghouse	25	E	05086 - 050110	E.550.086 - 110	1914 - 1915

Verwendungsart widerspiegelt: 3 steht für Personenverkehr, 5 für Güterverkehr und 7 für Speisung unter industrieller Frequenz. Das dritte Ziffer zeigt Unterbaureihen und Fortentwicklungen an.

Für Reisezüge auf der Frejusstrecke bauten Breda und Brown-Boveri zwischen 1914 und 1919 insgesamt 18 Loks der Reihe E.331. Mit einer Gesamtmasse von 92 Tonnen waren sie fast 20 Tonnen schwerer als ihre Vorgängerinnen und deshalb auch besser für die Bespannung der schweren Schnellzüge auf der Frejusstrecke geeignet. Mit der Achsfolge 2'C2' leisteten sie 2000 kW bei einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Im Gegensatz zu den anderen Dreiphasenloks, die Widerstände mit Flüssigkeit besaßen, war die Reihe E.331 die einzige Dreiphasenlok mit metallischen Widerständen. Wie die Reihe E.330 hatte sie vier Synchrongeschwindigkeiten (37,5, 50, 75 und 100 km/h), war aber zudem noch mit der neuen italienischen elektrischen Zugheizung REC (Riscaldamento Elettrico Convoglio = Elektrische Zugheizung) ausgestattet. Die elektrischen Bauteile der Loks waren allerdings so schlecht geschützt, dass man immer Überschlüge befürchten musste. 1963 wurden sie ausgemustert.

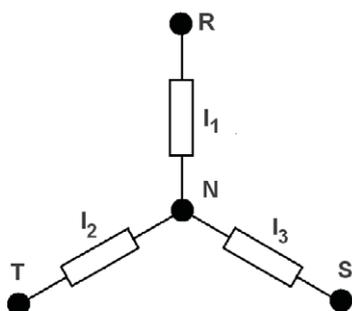
Zwischen März und November 1917 lieferte CEMSA (Costruzioni Meccaniche di Saronno) in Zusammenarbeit mit der schweizerischen Maschinenfabrik Oerlikon sechs Loks für die kurvenreiche Flach-Strecke Genua - Savona; die seit 1. September 1916 unter Fahrdraht war. Als erste Lokreihe wurden die Maschinen gleich in der neuen FS-Bezeichnung E.332.1 bis 6 (ab 1931 E.332.001 bis 006) ausgeliefert. Mit

der Achsfolge 2'C2' und einer Gesamtmasse von 92,8 Tonnen entwickelten die zwei Fahrmotoren 2000 kW für eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Wie die E.330 und E.331 erhielten sie vier Synchrongeschwindigkeiten: 37,5, 50, 75 und 100 km/h. Der wichtigste Unterschied zu den anderen Lokreihen war, dass bei dem Antrieb die Kraftübertragung der beiden Fahrmotoren durch eine schräge Stange und Hohlwelle geschah. Dieser Antrieb wurde vom Midi-Prototyp E.3101 inspiriert und vermeidet den klassischen V-Antrieb. Der Nachteil war aber eine erhebliche Zunahme des Gewichts beim mechanischen Teil. Die Kaskadenschaltung hatte zudem die Besonderheit, dass sie sowohl über 8 Pole im Stern oder aber im Dreieck über 6 Pole geschaltet werden konnte.

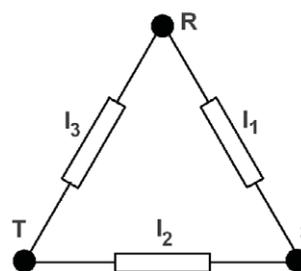
Anfänglich in Genova-Rivarolo beheimatet wurden sie sowohl auf der Flachstrecke nach Savona als auf den Giovisteigungen eingesetzt, wo sie die "Giovimaulesel" mit einer Anhängelast bis 230 Tonnen bei 75 km/h gegenüber 190 Tonnen bei 50 km/h bei der Reihe E.550 deutlich übertrafen. Ab 1925 wurden sie in Richtung Süden zwischen Genua und La Spezia eingesetzt. Die gezogenen Lasten betragen 430 Tonnen bei 50 km/h, 400 Tonnen bei 75 km/h und 300 Tonnen bei 100 km/h. 1934 wurden sie nach Turin umstationiert. Im Schatten der neueren Reihen E.431 und E.432 waren sie dort bis zum Ende ihrer Karriere 1964 mit leichten Zügen beschäftigt.

Die E.332 sollte die letzte italienische Baureihe mit schweizerischen Einflüssen sein.

Sternschaltung



Dreieckschaltung



Die Elektrifizierungen nach dem 1. Weltkrieg

Nach dem Ersten Weltkrieg begann ab 1919 die "große" Elektrifizierung. Die Frejusstrecke konnte ab 1922 bis Turin (103 km) durchgehend elektrisch befahren werden. Auch die Strecke Turin - Genua via Alessandria - Arquata Scrivia und Ronco Scrivia (137 km) sowie der kurze Abzweig Trofarello - Chieri (9 km) wurden 1922 abgeschlossen. Ein Jahr später folgte die Relation Alessandria/Arquata Scrivia - Tortona - Voghera, eine wichtige Teilstrecke der Hauptstrecken Mailand - Turin und Mailand - Genua. Ebenfalls 1923 wurde die Strecke (Turin) - Trofarello - Fossano - Ceva - (Savona) fertig gestellt, so dass nun zwei vollständig elektrifizierte Strecken Turin mit Genua verbanden. 1925 ging es dann südwärts voran: Die "Cinquetterre"-Strecke ("Riviera di Levante") entlang des Thyrrenisches Meers wurde in diesem Jahr zwischen Genua und La Spezia (90 km) unter Fahrdrabt gebracht. 1926 folgte die Verlängerung bis Viareggio (54 km) und 1928 erreichte der Dreiphasenstrom Pisa und Livorno (41 km).

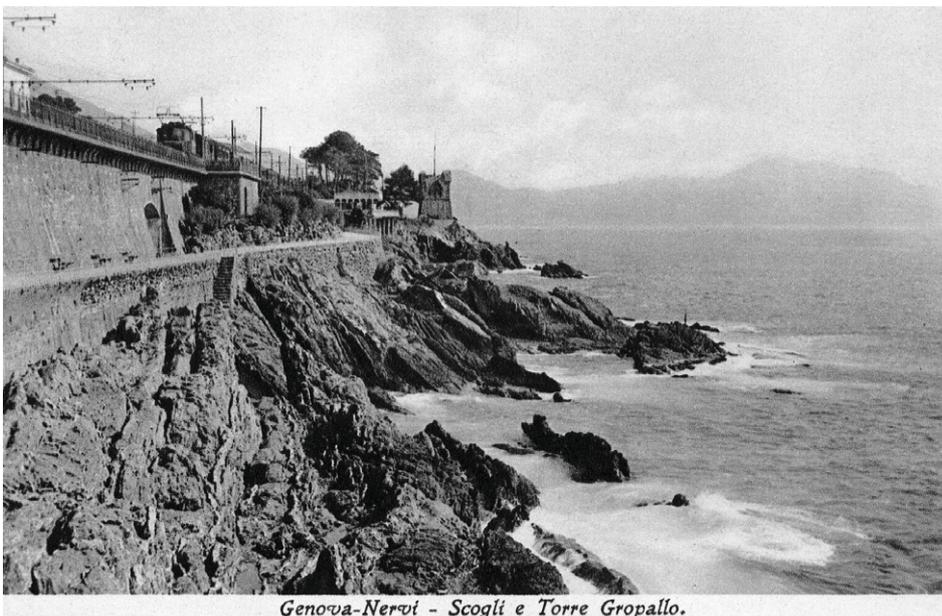
1927 wurde die "Porrettana" zwischen Bologna und Firenze Santa Maria Novella via Pistoia und Prato (131 km) mit Steigerungen bis 25 Promille durch die Apenninen elektrifiziert. Allerdings wurde die Strecke nach der Fertigstellung der "Direttissima" Bologna - Firenze am 28. April 1934 auf dem Abschnitt Prato - Firenze (15 km) als erste Dreiphasenstromstrecke auf 3 kV Gleichstrombetrieb umgestellt.

1927 konnten die Strecken Alessandria - Ovada - Genua und Asti - Acqui Terme; 1931 die Strecken der "Riviera dei Fiori" (Blumenriviera) Savona -

Ventimiglia (108 km) und die Bergstrecke Ventimiglia - Cuneo (98 km) in das Dreiphasennetz aufgenommen werden. Das fehlende Teilstück Cuneo - Fossano (45 km) sollte 1934 folgen.

In Norditalien hatte Österreich-Ungarn mit dem Vertrag von St.-Germain am 10. September 1919 die Gebiete Südtirol, Ampezzo, Trentino, Friul Julisch Venetien, Westslovenien und Istrien an Italien verloren. Die Grenze, die bislang am Nordostufer des Gardasees lag wurde nun 189 Kilometer weiter im Norden gezogen, so dass die Brennerbahn bis zum Bahnhof Brennero nun italienisch war. Aus diesem Grund wurde nun auch hier mit der Elektrifizierung begonnen. 1927 wurde der elektrische Betrieb mit Dreiphasenstrom 3,6 kV 16 2/3 Hz zwischen Brennero und Bozen (89 km) aufgenommen. 1934 folgten die Abschnitte Bozen - Trento (56 km) und Bozen - Meran (30 km). Am 1. April 1934 wurde dann die grenzüberschreitende Kurzstrecke Brennersee - Brennero nach langjährigen Diskussionen von österreichischer Seite her mit 15 kV 16 2/3 Hz unter Fahrdrabt gebracht. Dadurch wurde der Betrieb im Grenzbahnhof Brennero nun noch komplizierter, da die italienische zweipolige Oberleitung in keinster Weise mit der einpoligen österreichischen Oberleitung verträglich war. Daneben waren die 3,6 kV-Isolatoren auch nicht für die 15 kV-Hochspannung geeignet. Trotz dieser Hindernisse wurde der Bahnhof Brennero in einen nicht umschaltbaren Übergangsbahnhof ausgebaut und war damit der erste Zweisystemgrenzbahnhof für Normalspur in Europa.

Während sich das Dreiphasenstromnetz immer weiter vergrößerte, wurde 1928 in Süd-Italien die erste Strecke zwischen Benevento und Foggia (101 km) mit Gleichstrom 3 kV elektrifiziert. Obwohl dieses Speisungsart, u.a. auf Befehl von Mussolini, eine unaufhaltbare Entwicklung in Itali-



Die schroffen Felsen der Küste bei Genua-Nervi bilden 1933 den markanten Vordergrund für E.550 mit ihrem Personenzug (Sammlung Franco Dell'Amico)

en nehmen wird, wurden auch noch einige Strecken mit Dreiphasenstrom elektrifiziert.

1937 konnte der "Stern" rund um Acqui Terme bis Alessandria, San Giuseppe und Ovada (insgesamt 97 km) sowie die Nebenstrecke Ceva - Ormea (35,5 km) vollendet werden. Weiter südlich folgte 1938 die "Pontremolese" durch die Apenninen zwischen Fornovo und La Spezia/Sarzana (94 km) mit dem 7972 Meter langen Borgallotunnel. Damit war die Elektrifizierung unter Dreiphasenstrom, mit Ausnahme zweier Kurzstrecken (siehe nächster Absatz) vollendet. Im selben Jahr 1938 wurde bereits eine zweite Strecke auf 3 kV DC umgeschaltet (Livorno - Pisa - Viareggio; 41 km).

Im Jahr 1941, als die Italiener Südost-Frankreich besetzten, wurde die Elektrifizierung Ventimiglia - Menton in Betrieb genommen. Ziel war zunächst den Fahrdrabt bis Nizza (Nice) weiterzuziehen, doch als sich die Besatzungstruppen 1943 zurückzogen wurden auch alle Installationen wieder demontiert. 1954 erfolgte dann die letzte Elektrifizierung unter Dreiphasenstrom: Der 23 km lange Lückenschluss von San Giuseppe di Cairo bis Savona via Altare. Die Region Piemont - Liguria hatte damit ein homogenes elektrifiziertes Netz zur Verfügung.

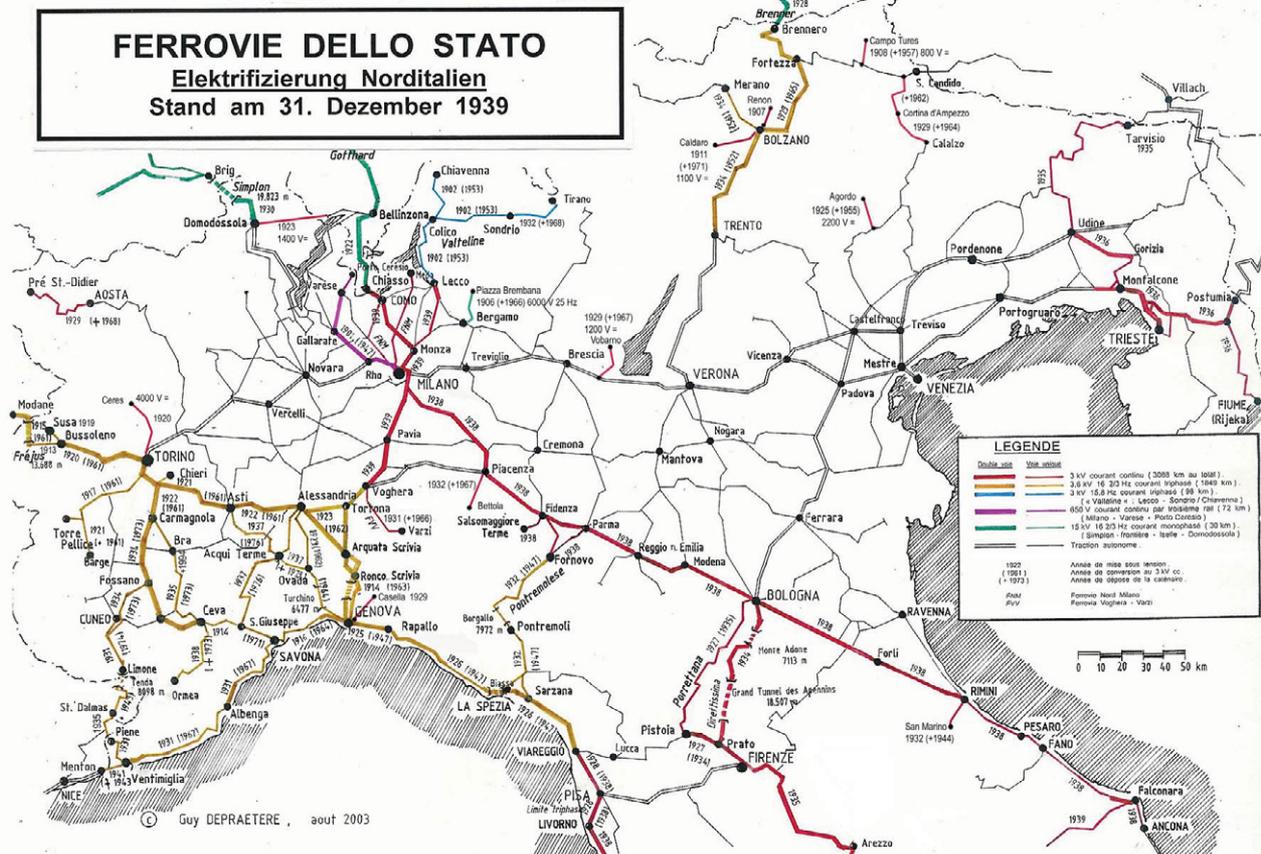
Am 31. Dezember 1939 hatten die Ferrovie dello Stato (FS) ein Streckennetz von insgesamt 5131 Kilometer elektrifiziert, davon:

- 3088 km unter 3 kV DC.
- 1849 km unter Dreiphasenstrom 3,6 kV 16 2/3 Hz.
- 92 km unter Dreiphasenstrom 3,3 kV 16 2/3 Hz (Die Veltlin)
- 72 km unter 650 V DC mit seitlicher Schiene (Milano - Varese - Porto Ceresio)
- 30 km unter 15 kV 16 2/3 Hz (Simplonbahn Domodossola - Iselle di Trasquera)

Doch auch wenn der Dreiphasenstrom am Vorabend des Zweiten Weltkrieges technisch komplett überholt war kann man diese Speisungsart bei einer Streckenlänge von fast 2000 km kaum als marginal betrachten. Nach dem 2. Weltkrieg sollte es auch noch drei Jahrzehnte dauern, bevor der Drehstrom vollständig durch Gleichstrom ersetzt war. Doch dies ist - ebenso wie die eingesetzten Triebfahrzeuge - Thema der folgenden Ausgaben.

Fortsetzung in LV 66

Streckenkarte der italienischen Staatsbahn mit den verschiedenen elektrifizierten Netzen zum 31. Dezember 1939. Das Dreiphasenstromnetz ist in ocker dargestellt. (Guy Depraetere)



Drehstrom in Italien

1902-1976

Teil 3



Die dampfende E.432.025 zusammen mit der E.432.030 vor einem Personenzug am 26. März 1976 in Acquiterme. (Franco Dell'Amico)

Die Triebfahrzeuge

Baureihe E.551

Der Güterverkehr hielt zunächst aufgrund der guten Erfahrungen mit der Reihe E.550 der Achsfolge mit fünf gekuppelten Achsen die Treue. 1919 bestellte die FS insgesamt 183 Lokomotiven der Reihe E.551, die zwischen 1922 und 1925 geliefert wurden. Wie bei der älteren Schwester der Reihe E.550 hatte der Radsatz der mittleren Achse dabei keine Spurkränze. Zum Einbau kamen zwei Fahrmotoren mit einer Dauerleistung von 1000 kW, so dass die E.551 um 500 kW leistungsfähiger als ihre Vorgängerin war. Die weiteren Daten waren dabei ähnlich der E.550: Gesamtmasse: 75 Tonnen; Länge: 11,010 Meter und 50 km/h Höchstgeschwindigkeit. Der große Unterschied war allerdings, dass diese Loks ab 1925 mit Ölkessel für die Zugdampfheizung ausgestattet wurden. Auf diese Weise waren sie nun auch vor Reisezügen verwendbar.

Ihr Einsatz sollte sich im Lauf der Jahre auf das gesamte Dreiphasennetz erweitern. Die

Die erhaltene E.551.001 im Museum Pietrarsa (Aufnahme Giorgio Stagni)

letzte Lok wurde 1965 ausgemustert. Erhalten blieb die E.551.001 im Museo Ferroviario Nazionale in Pietrarsa bei Neapel.

Baureihe E.552

1922 lieferte Romeo aus Saronno 15 Loks der Reihe E.552. Gemeinsam mit der Reihe E.333 sollen sie die letzte Lokreihe aus der "ungarischen Schule" mit Kandotechnik sein. Im Gegensatz zu den anderen Güterzugloks, die nur über zwei Synchron-



geschwindigkeiten verfügten, besaß die Reihe E.552 zunächst vier Synchrongeschwindigkeiten: 16,6, 25, 33,3 und 50 km/h, die aber im Lauf der Jahre auf zwei reduziert wurden (25 und 50 km/h). Gegenüber den anderen Güterzugloks gab es noch einen weiteren Unterschied: Als einzige Lok mit E-Achsfolge besaß die E.552 an allen Radsätzen Spurkränze. Obwohl sie 1600 kW leisten konnte (100 kW mehr als die "Giovimaulesel" der Reihe E.550) wurden die Loks nur für Verschubdienste im Hafen Genua eingesetzt. 1962 wurden die letzten Loks ausgemustert.

Baureihe E.554

Ab 1928 erschien als Weiterentwicklung der E.551 die E.554. Zwischen 1928 und 1930 in 183 Exemplaren gebaut, war diese Lokreihe - gemeinsam mit der Personenzuglok E.432 - die erste vollständig in Italien entwickelte Drehstrom-Baureihe.

Der bruchanfällige dreieckige Kando-Antrieb wurde dabei durch einen von Riccardo Bianchi entwickelten gelenkigen Antrieb ersetzt, der einfacher und flexibler war und deshalb auch wenig anfällig für Stangenbrüche. Auch bei der E.554 hatten die Räder der mittleren Achse analog den Reihen E.500 und E.551 keine Spurkränze.

Die zwei Fahrmotoren entwickelten je 1000 kW; die Anfahrzugkraft betrug 125 kN und die Dauerzugkraft 140 kN bei 50 km/h. Die Gesamtmasse lag mit 77 Tonnen etwa höher als bei der E.551 und die Loks waren ebenfalls mit einem Ölkessel für die Zugdampfheizung der Reisezüge ausgestattet. Die Kaskadeschaltung ermöglichte eine Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h.

Auch diese Loks wurden auf dem gesamten Dreiphasennetz eingesetzt, vor allem aber auf der Frejusstrecke nach Modane und der Brennerbahn. 1939 wurde bei zehn Einheiten des Depots Bozen für den Betrieb auf der Strecke Bozen - Meran die äußeren Achsen "abgekuppelt", so dass die neue Achsfolge 1'C1' entstand. Die umgebauten Loks erhielten die Baureihenbezeichnung E.354.

Zwischen 1957 und 1965 wurden 34 Einheiten mit Mehrfachsteuerung ausgestattet. Die letzten 15 Exemplare verschwanden 1976 zeitgleich mit dem Dreiphasenstrom. Die E. 554.078 und E.554.174 wurden der Nachwelt erhalten. Die erste befindet sich in Ranco (Privatsammlung), die zweite im Museo Ferroviario Piemontese in Savigliano.

Baureihe E.333

Zwischen 1922 und 1924 lieferte die Società Nicola Romeo aus Saronno 40 Stück einer 1'C1' Maschine

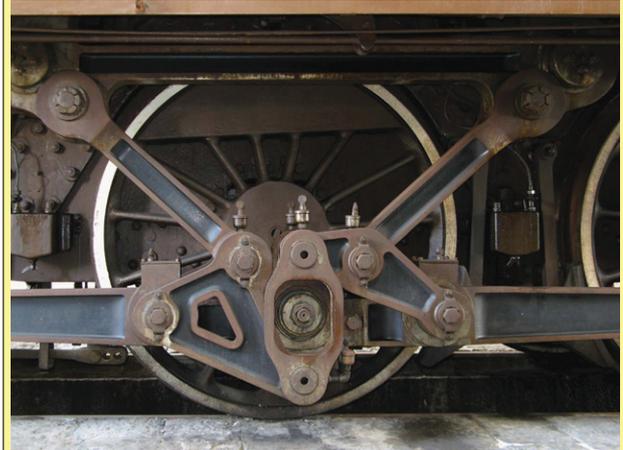
Antriebsarten der Dreiphasenloks



Ursprünglicher dreieckiger Kando-Antrieb bei der Baureihe E.330.



Verbesserter Kando-Antrieb mit gelenkiger Kuppelstange bei der Baureihe E.551.



Gelenkiger Bianchi-Antrieb bei der Baureihe E.432. (alle Fotos: Giorgio Stagni)

der Reihe E.333, die vor allem dadurch auffielen, dass sie nur ein Führerhaus hatten. Die E.333 war für leichte und regionale Personenzüge vorgesehen, Sie war eine Weiterentwicklung der E.330, besaß zwei Fahrmotoren mit je 800 kW Leistung sowie Kaskadeschaltung und Parallelschaltung. Die Synchrongeschwindigkeiten wa-



E.554.130 zieht am 17. April 1976 einen Güterzug durch Bistagno. (Franco Dell'Amico)

Die E.333.014 im August 1964 vor einem Schnellzug in Ventimiglia (Dokument FS Slg Gianfranco Ferro)





*(oben) Veteranentreffen im Jahr 1954 in Noli mit E.431.015 und E.333.036. (Dokument FS Slg. Gianfranco Ferro)
- (unten) E.431.015 im August 1954 in Imperia Porto Maurizio. (Dokument FS Slg. Franco Dell'Amico)*





Die E.431.026 in Doppeltraktion mit der E.431.015 im Juni 1954 in Imperia Porto Maurizio. Die E.431.026 wurde als erste Lok dieser Reihe 1960 mit Mehrfachsteuerung ausgerüstet. (Dokument FS; Slg Franco Dell'Amico)

ren 25, 37,5, 50 und 75 km/h. Am Anfang ihrer Karriere waren die Loks dieser Reihe auf die Depots Alessandria, Genova-Terralba, Lecco (Veltlin) sowie Firenze S. M. N. (Porrettana) verteilt.

In den 1930er wurden 38 Einheiten versuchsweise mit einer elektrischen Zugheizung (REC) ausgestattet. 1960 erhielten die E.333.025 und 033 eine Mehrfachsteuerung.

Erwähnenswert ist auch die Tatsache, dass einige Loks der Depots Lecco und Bozen ab 1935 mit einer "Totmanneinrichtung" ausgerüstet wurden. Ob diese Versuche erfolgreich verliefen ist aber nicht bekannt. Erstaunlich ist dabei, dass italienische Loks schon 1935 mit dieser Einrichtung ausgestattet wurden, da diese später wieder entfernt oder zeitweise deaktiviert wurde. Auch heute sind nur die Reihen E.405, E.412

und E.464 mit einer abschaltbaren "Totmannsicherung" ausgestattet. Am 13. Dezember 2006 verunfallte die E.405.032 auf der Brennerbahn, weil die Totmanneinrichtung abgeschaltet war. Auf italienischen Loks fahren auch heute noch immer zwei Lokführer.

Zurück zur E.333: 1953 wurden die restlichen 38 Loks in den Depots Alessandria (21 Stück) und Savona (17 Stück) zusammengefasst. 1968 erfolgte dann die Abstellung der gesamten Reihe. Die



Die restaurierte E.431.027 im Museo ferroviario Piemontese in Savigliano. (Giorgio Stagni)

E.333.026 blieb den Nachwelt im Depot Novi Ligure erhalten.

Baureihe E.431

1922 lieferte TIBB 37 Reisezugloks der Reihe E.431 mit der Achsfolge 1'D1' und einer Länge über Puffer von 14,190 Meter. Bei 91 Tonnen Gesamtmasse und einer Reibungsmasse von 65 Tonnen entwickelte sie eine Dauerleistung von 2000 kW und eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Auch diese Loks wurden auf dem kompletten Dreiphasennetz eingesetzt. Zufriedenstellen konnten sie im Betrieb aber nicht: Bei niedrigen Geschwindigkeiten fehlte diesen Loks offensichtlich aufgrund der genutzten Kaskadeschaltung bei 37,5 und 50 km/h die Zugkraft. Bei 75 und 100 km/h konnten die Fahrmotoren in Parallelschaltung dagegen volle Leistung nutzen. Vierzehn Exemplare wurden mit der elektrischen Zugheizung REC ausgerüstet.

In den Sechziger Jahren erhielten vier Einheiten eine Mehrfachsteuerung. 1967 wurden die verbliebenen 34 Einheiten im Depot Alessandria zusammengefasst. Auch diese Baureihe verschwand erst 1976 mit dem Ende des Dreiphasenstroms.

Aufbewahrt blieben die E.431.037 in Speyer (Deutschland) und die E.431.027 im Museo ferroviario Piemontese in Savigliano. 2005 wurde bei letzterer anlässlich des 100-jährigen Jubiläums des Lokomotivbaus in Vado Ligure der Lokkasten von Bombardier restauriert.

Baureihe E.432

Erfolgreicher war die Baureihe E.432, die 1927 und 1928 in 40 Exemplaren von Società Ernesto Breda aus Mailand mit der Achsfolge 1'D1' geliefert wurde. Sie hatte eine Länge über Puffer von 13,910 Meter, eine Gesamtmasse von 94 Tonnen und eine Reibungsmasse von 71 Tonnen. Ihre zwei Fahrmotoren entwickelten eine Dauerleistung von 2200 kW. Die vier Treibachsen waren gekuppelt und die Kraftübertragung erfolgte wie bei der Reihe E.554 mit einem gelenkigen Stangenantrieb der Bauart Bianchi.

Der elektrische Teil bestand aus zwei Fahrmotoren mit fast 2 Metern

Maschinenraum der E.432. Die zwei großen Fahrmotoren sind deutlich sichtbar. (Giorgio Stagni)

Durchmesser und einem Gewicht von 20 Tonnen sowie einer Leistung von jeweils 1100 kW. Mit ihrer Dauerleistung von 2200 kW waren diese Maschinen die leistungsfähigsten Drehstromloks der FS. Im Gegensatz zu den älteren Drehstromloks waren die E.432 mit doppelten Stromabnehmern statt Bügeln ausgestattet. Dadurch wurde der Kontakt mit dem Fahrdrat bei höheren Geschwindigkeiten verbessert. Die Geschwindigkeit wurde bis 37,5 km/h mit Kaskadeschaltung geregelt, bei höheren Geschwindigkeiten wurde eine Parallelschaltung mit Kommutation der Polzahl des Läufers durchgeführt. So konnten die Fahrmotoren mit 12, 8 oder 6 Polen gespeist werden. 1940 wurde die Kaskadeschaltung entfernt.

Die E.432.030 wurde probeweise mit Mehrfachsteuerung ausgerüstet. Mangels Erfolg blieb es aber bei nur einer Lok.

Am 25. Mai 1976 zogen die E.432.008 und die E.431.003 den Abschiedszug des Drehstroms in Italien von Alessandria bis Acqui Terme.

Anfänglich war die Reihe auf die Depots Bologna, Bozen (Brennerbahn), Turin und Genua verteilt. Nach der Umschaltung der "Porrettana" auf 3 kV DC im Jahr 1935 verschwanden sie aus Bologna. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden sie hauptsächlich von den Depots Savona (26 Einheiten) und Cuneo (14 Einheiten) eingesetzt. Einige Exemplare blieben aber weiter auf der Brennerbahn. 1974 wurden die letzten 13 Einheiten im Depot Alessandria konzentriert.

Zwei Loks blieben der Nachwelt erhalten: Die E.432.001 befindet sich im Museo Nazionale Ferroviario in Pietrarsa (Neapel) und die E.432.031



Vergleichende Daten der Drehstromloks 3,6 kV 16 2/3 Hz für Reisezüge							
Technische Daten	Baureihe	E.330	E.331	E.332	E.333	E.431	E.432
	Baujahr	1914	1914 - 1919	1914 - 1917	1922 - 1924	1922	1927 - 1928
	Hersteller	Westinghouse	Breda / BBC	CM Saronno	Nicola ROMEO	TIBB	Breda
		Breda / Westingh,			Oerlikon		Ansaldo
	Achsfolge	1'C1'	2'C2'	2'C2'	1'C1'	1'D1'	1'D1'
	Länge über Puffer (mm)	11.008	13.370	13.370	11.600	11.610	10.710
	Dienstmasse (t)	73	92	92,8	73	91	94
	Reibungsmasse (t)	51	48	48	45	65	71
	Vmax (km/h)	100	100	100	75	100	100
	Synchrongeschwindigkeiten km/h	37,5/50/75/100	37,5/50/75/100	37,5/50/75/100	25/37,5/50/75	37,5/50/75/100	37,5/50/75/100
	Anfahrzugkraft (kN)	84	97	93	97	95	140
	Dauerleistung						
	bei 37,5 km/h (kW)	950	950	950	690 (25 km/h)	950	915
	bei 50 km/h (kW)	1280	1280	1250	1520	1280	2050
	bei 75 km/h (kW)	2000	2000	2000	1600	2000	2200
	bei 100 km/h (kW)	1900	1900	1800	---	1900	2200
	Anzahl gebaut	16	18	6	40	37	40
Ausmusterung	1963	1963	1964	1968	1976	1976	
Letzte Beheimatung	Alessandria	Savona	Savona	Savona	Alessandria	Alessandria	

wird im Museo ferroviario Piemontese in Savigliano (Turin) ausgestellt.

Auffallend ist die niedrige Leistung bei niedrigen Geschwindigkeiten, die sich ebenfalls in der Kaskadeschaltung begründet. Wenn auf Parallelschaltung übergegangen wurde stieg die Leistung deutlich.

Insgesamt wurden 724 Drehstromloks gebaut. Lokomotiven, die nicht mit elektrischer oder dampfbetriebener Heizung ausgestattet waren, benötigten im Reisezugverkehr einen Heizwagen.

Bis 1935 waren alle Loks schwarz mit roten Rad-

sätzen und roten Pufferbalken. Ab 1935 erhielten sie gemäß dem neuen FS-Farbschema eine Lackierung in kastanienbraun (dunkelbraun) und Isabellabraun (leichtbraun). Die letzten Einheiten der Reihen E.551 und E.432 wurden in den Fünfziger Jahren umgestrichen. Ab 1966 wurden die Fahrzeuge aus Kostengründen dann nur noch Isabellabraun angestrichen (Isabella verweist auf eine spanische Königin und wird deshalb immer mit Großbuchstaben geschrieben).

Fortsetzung in LV 66

Die E.432.001 am 7. Juni 1975 im Bahnhof Piana Crixia. (Franco Dell'Amico)





Guy Depraetere

Drehstrom in Italien 1902-1976 Teil 4

Die Dreiphasen-Wechselstromlok E.432.004 am 18. November 1975 in Piana Crixia. (Franco Dell'Amico)

Drehstrom mit industrieller Frequenz

Anfang der 1920er Jahre hatte auch die Drehstromtechnik deutliche Fortschritte gemacht. So war es nun - wie Studien gezeigt hatten - möglich, den Zwischenabstand zwischen zwei Unterwerken durch eine Einspeisung einer höheren Spannung und Frequenz zu vergrößern. Aus diesem Grund entschied sich die FS im Jahr 1922 eine Versuchsstrecke mit Dreiphasenstrom 10 kV 45 Hz zu elektrifizieren.

Rom - Sulmona

Die Wahl fiel auf die Strecke Rom - Sulmona (172 km), die mehrere Tunnels mit einer Gesamtlänge von mehr als 20 km sowie Steigungen bis 30 Promille aufwies. Die Unterwerke waren nun 27 bis 45 Kilometer voneinander entfernt und wurden von einem hydro-elektrischen Kraftwerk in Sagittario gespeist. Die Spannung betrug 62 kV 45 Hz. Wie bei den anderen Strecken waren die Unterwerke mit Dreiphasentransformatoren ausgestattet, die die Spannung von 62 kV auf 10 kV umformten. Die Oberleitungsgeometrie blieb dabei mit zwei Fahrdrähten unverändert; lediglich die Isolatoren wurden wegen der höheren Spannung entsprechend verstärkt.

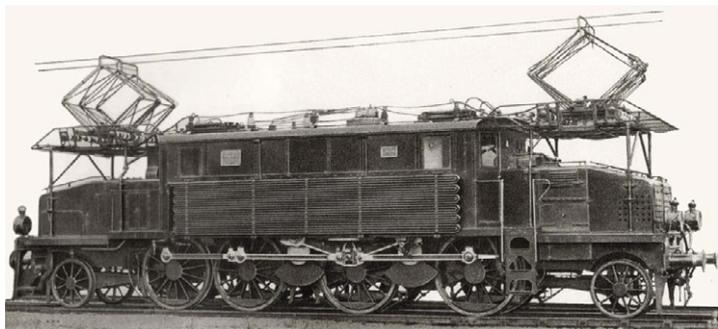
Für diese Strecke orderte die FS am 12. Juni 1922 vier Baureihen, die während der Elektrifizierungs-

arbeiten zwischen 1925 und 1928 gebaut wurden:

Baureihe E.470

Die Baureihe E.470 war die 10 kV-Variante der E.431. Für Reisezüge bestimmt wurden von TIBB 4 Einheiten gebaut. Sie hatte vier gekuppelte Achsen (Achsfolge 1'D1') und vier Synchrongeschwindigkeiten: 37,5, 50, 75 und 100 km/h. Die zwei Fahrmotoren entwickelten insgesamt 2090 kW bei einer Gesamtmasse von 91 Tonnen und einer Reibungsmasse von 64 Tonnen. Die Anfahrzugkraft betrug 83 kN; die Dauerzugkraft 115 kN. Statt der klassischen Bügel waren diese Loks mit zwei "Zwillingsstromabnehmern" ausgerüstet; für jeden Fahrdraht einen.

Lok des Typs E.470 (Sammlung Claudio Vianini)



Baureihe E.471

Die E.471 wurde 1925 von CEMSA (Costruzioni Elettromeccaniche Saronno) unter Leitung von Kálmán Kandó als Mehrsystemlok konzipiert. Nach den Vorgaben sollte sie für:

- Dreiphasenstrom 3,6 kV 16 2/3 Hz.
- Dreiphasenstrom 10 kV 45 Hz.
- Einphasenstrom mit industriellen Frequenz 50 Hz. geeignet sein.

Ab Anfang der 1920er entfernte sich Kálmán Kando vom Dreiphasenstrom. Überzeugt, dass dem Einphasenstrom mit der industriellen Frequenz von 50 Hz die Zukunft der Eisenbahnelektrifizierung gehört, elektrifizierte Ganz bis zum 31. Oktober 1923 eine Probestrecke zwischen Budapest und Alag in Ungarn unter Einphasenwechselstrom 16 kV 50 Hz. Bald nach Kandos Tod im Jahr 1931 wurde am 12. September 1932 die erste kommerzielle Strecke unter 16 kV 50 Hz zwischen Budapest und Komarom (82 km) in Betrieb genommen. 1934 wurde die Elektrifizierung bis Hegyeshalom an der österreichischen Grenze verlängert.

Um die Forderungen nach einer Dreisystemlok und Dreifrequenzlok erfüllen zu können, musste die Lok insgesamt sechs Synchrongeschwindigkeiten entwickeln, die aus vier Polzahlen, drei Schaltungen und drei Speisungsarten hervorgehen: Einphasen-, Zweiphasen-, Dreiphasen- und Vierphasenstrom. Dies geschah durch einen Umrichter, der zwei Funktionen hatte: Zum einen die Spannung auf 3,6 kV zu reduzieren und zum anderen die Frequenz auf 3 x 16 2/3 Hz umzuformen. Vielleicht etwas zu ambitioniert, war das resultierende System derart kompliziert, dass von den anfänglich geplanten zehn Exemplaren schließlich nur eine Lok gebaut wurde. Trotzdem funktionierte die Maschine unter beiden Speisungssystemen und kann deshalb zurecht als erste Zweifrequenzlok der Welt angesehen werden. Mit einer Leistung von 3270 kW übertraf sie zudem die 1600 oder 2000 kW der anderen Dreiphasenloks deutlich.

Die Tabelle der Synchrongeschwindigkeiten illustriert, dass die theoretische Vorgehensweise vielleicht perfekt sein konnte, die praktische Anwendung war aber undurchführbar oder fehlerbehaftet. Nur die fett gedruckten Geschwindigkeiten konnten in Betracht gezogen werden:

Synchrongeschwindigkeiten der E.471 in km/h					
E.471	Schaltung	Frequenz			
		16 2/3 Hz	45 Hz	50 Hz	Ständer
	Kaskade 24 Pole	12,7	33,5	38	Einphase
	Kaskade 16 Pole	19	50	57	Vierphase
	24 Pole	25	67	75	Einphase
	16 Pole	37,5	100	114	Vierphase
	12 Pole	50	135	150	Dreiphasen
	8 Pole	75	200	225	Zweiphasen

Baureihe E.472

Für die Beförderung von Reisezügen wurden von der Società Ernesto Breda 17 Lokomotiven der Baureihe E.472 gebaut. Sie hatten vier gekuppelte Achsen (Achsfolge 1'D1'), die von zwei Fahrmotoren von je 1000 kW über Stangen mit elastischen Zahnrädern angetrieben wurden. Sie entwickelten drei Synchrongeschwindigkeiten: 37,5, 50 und 75 km/h. Die Gesamtmasse war 94,4 Tonnen und die Reibungsmasse 65 Tonnen. Auch diese Loks wurden mit je zwei "Zwillingsstromabnehmern" ausgerüstet.



Lok des Typs E.472. (Dokument FS; Slg. Claudio Vianini)

Für den Güterverkehr blieb man dagegen den fünf gekuppelten Achsen (Achsfolge E) treu. 1925 lieferte TIBB vier Loks der Baureihe E.570. Sie waren die 10 kV-Variante der Reihe E.552 und entwickelten 2000 kW, besaßen die Synchrongeschwindigkeiten von 25 und 50 km/h und eine Gesamtmasse von 76 Tonnen. Die Stromabnahme geschah mit den gleichen Bügeln wie der E.552.

Noch vor der Inbetriebnahme der Elektrotraktion auf der Strecke Rom - Sulmona wurden die Lokomotiven 1927 und 1928 auf der Frejusstrecke erprobt. Weil die Umrichter wenig befriedigende Resultate einbrachten, wurde das Unterwerk von Bardonnechia umgebaut, so dass die 17 km lange Strecke zwischen Bardonnechia (1312 m ü. N.N.) und Salbertrand (1032 m ü. N.N.) mit Steigungen bis 26 Promille, sowohl mit 3,6 kV 16 2/3 Hz als mit 7,2 kV 45 Hz gespeist werden konnte.

Dennoch blieben die Loktypen der Reihe E.471, E.472 und E.570 für beide Speisungssysteme geeignet. Auf den Steigungen von 26 Promille zogen die E.472 zwischen 250 und 390 Tonnen. 1928 wurde die umschaltbare Strecke dann bis Quadrivio Zappata in der Nähe von Turin verlängert (67 km). Auf Steigungen von 8 bis 11 Promille zogen die E.472 dort 420 Tonnen bei 85 km/h, während die fünfachsigige E.570 sogar 500 Tonnen bei 50 km/h beförderte.

Die erste Teilstrecke der neuen Versuchsstrecke zwi-

schen Roma, Prenestina und Tivoli (35 km) wurde am 28. Oktober 1928 in Betrieb genommen. Die restlichen 137 km zwischen Tivoli und Sulmona folgten am 23. März 1929.

Doch schon am 28. Oktober 1935, als die ersten Strecken unter 3 kV DC die römischen Vororte erreichten, wurde die Teilstrecke Roma - Prenestina - Mandela (50 km) auf Gleichstrom umgeschaltet. Die Dreiphasenloks, die anfänglich im Depot Roma San Lorenzo beheimatet waren, wurden nach Sulmona umbeheimatet. Dennoch wollte man die ganze Strecke so schnell wie möglich auf Gleichstrom umschalten. Der Krieg verzögerte das Vorhaben aber. Während alliierter Bombenangriffe wurde die Strecke dann 1944 komplett zerstört und nach dem Krieg zwischen Mandela und Avezzano (53 km) am 15. August 1946 und zwischen Avezzano und Sulmona (69 km) am 18. Mai 1950 unter 3 kV DC wieder in Betrieb genommen.

Alle nicht durch Kriegsschäden zerstörten Loks wurden 1944 in Genua, Turin oder Sulmona abgestellt und 1946 bis 1948 verschrottet.

Die Umschaltung auf Gleichstrom

Wie schon erwähnt sorgten die erfolgreiche Resultate der erste Elektrifizierung unter 3 kV Gleichstrom (DC) auf der Strecke Benevento - Foggia unter dem faschistischen Regime ab Anfang der 1930er für einen erstaunlichen Siegeszug. In nur 15 Jahren sollte gemäß einem aufgestellten Programm 8000 Streckenkilometer mit diesem Stromsystem elektrifiziert werden.

Bereits 1938 konnte von Mailand bis Reggio di Calabria (1321 km) durchgehend elektrisch gefahren werden und nach der Fertigung des "Lückenschlusses" Chiasso - Mailand am 28. Oktober 1939 war eine durchgehende elektrische Reise von Basel bis Reggio di Calabria (1693 km) möglich.

Da die erste Strecken-elektrifizierungen unter 3 kV DC erst 1931 (Neapel - Aversa - Caserta - Bene-

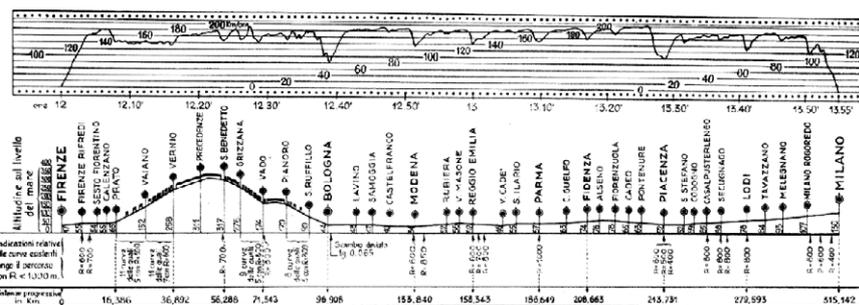
vento; 60 km) begonnen wurden und erst ab 1934 in voller Kraft verwirklicht wurden, errechnet sich bei einem Baufortschritt von insgesamt 2927 Streckenkilometern in sechs Jahren (1934 - 1939) ein Elektrizifizierungsschnitt von fast 500 km pro Jahr. Neben den technischen Vorteilen hatte die daraufhin begonnene Umschaltung der Drehstromstrecken auch ganz praktische Gründe. Unter Drehstrom erreichten die Züge maximal 100 km/h und trotz gewaltiger technischer Fortschritte, sah es damals nicht so aus, als ob Drehstrom jemals höhere Geschwindigkeiten ermöglichen würde. Für die faschistische Propagandamaschine kam dies einem Stillstand gleich. Mussolini wollte die Züge nicht nur pünktlich fahren lassen, sondern auch schnell. Im Wettlauf mit seinem deutschen Bundesgenossen und Rivalen Adolf Hitler sollte er dann auch die Nase vorne haben. Am 20. Juli 1939 erreichte die FS mit ihren ETR 200 (ETR = Elettrotreno Rapido) zwischen Bologna und Mailand eine Höchstgeschwindigkeit von 203 km/h und eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 176 km/h.

Der Vorsprung der Italiener hatte zwei Gründe: Hitlers Kriegsmaschine gründete sich in erster Stelle auf Panzer und die Luftwaffe. Die Bedeutung der Eisenbahn drang erst viel später zu ihm durch. Gleichzeitig unterschied sich die Geographie und Bevölkerungsverteilung Italiens deutlich von der Deutsch-

Rekordfahrt des ETR 200



Der ETR 200 (oben) fuhr schon 1939 200 km/h wie die Geschwindigkeitskurve der Sonderfahrt vom 20. Juli 1939 beweist. (beide Sgl. Claudio Vianini)



lands. Während Deutschland ein dezentralisiertes Land ist, wohnten in Italien 45 Prozent der Bevölkerung in dem "T" zwischen Turin - Mailand - Venedig sowie Mailand - Bologna - Firenze - Rom - Neapel. Für den Duce war die Strategie damit leicht. Durch den Ausbau von nur zwei Eisenbahnstrecken war das halbe Netz bereits „fertig“.

Der Krieg verhinderte aber zunächst weitere Umstellungen, und nach dem Krieg war die Wiederherstellung des beschädigten Eisenbahnnetzes wichtiger als Umstellungen des Stromsystems. Davon unbeeindruckt wurden bereits 1947 einige Einzelstrecken südlich von Genua (Genua - Viareggio und die "Pontremolese" Forno - La Spezia / Sarzana) unter 3 kV DC neu elektrifiziert.

Erstaunlich ist auch, dass die schwer zerstörte Brennerbahn nur zwischen Trento, Bozen und Meran in der Verlängerung der Elektrifizierung Bologna - Verona (1940) und Verona - Trento (1941) im Mai 1952 auf 3 kV umgestellt wurde, während die Scheitelsecke Bozen - Brennero wieder mit 3,6 kV-Oberleitung aufgebaut wurde.

In den 1950er Jahren gab es mit Ausnahme der Umschaltung der Veltlin auf 3 kV DC im Jahr 1953 auf den Strecken im Piemont und Ligurien keine Änderungen. Um den Eisenbahnbetrieb insbeson-

dere in den Systemwechselbahnhöfen Voghera und Bozen etwas einfacher gestalten zu können, wurden allerdings 26 Beiwagen der 73 neuen Triebwagen ALe 840 (Die "Zigarren") mit zwei "Zwillingsstromabnehmern" sowie einem Transformator und Quecksilberdampfgleichrichter ausgestattet, um auch unter 3,6 kV 16 2/3 Hz fahren zu können. Diese Beiwagen wurden erst Le 840.201 bis 226 bezeichnet und waren später als Lebc 840.201 bis 226 im Einsatz.

Ab Mai 1961 begann dann die großflächige Umschaltung auf Gleichstrom. Bis dahin wurden noch wichtige Achsen wie Modane - Turin - Genua, Voghera - Genua, Genua - Ventimiglia und die Brennerbahn zwischen Brennero und Bozen mit Dreiphasenstrom gespeist. Der Lokbestand betrug damals noch 535 Einheiten verschiedener Baureihen, wobei die meisten (E.550, E.551 und E.554) noch auf 2000 kW und 50 km/h beschränkt waren, während die Vorkriegsgleichstromloks E.625 und E.626 aus den Jahren 1927 bis 1939 bereits 2100 kW bei einer Höchstgeschwindigkeit von 95 km/h leisteten. Weil die Anhängelasten immer weiter stiegen wurden alle E.554 mit Mehrfachsteuerung ausgerüstet. Anfang der 1960er Jahre wurde die Maßnahme auf sechs

Der Zweisystembeiwagen Lebc 840.218 am 1. November 1970 in Acqui Terme - die "Zwillingsstromabnehmer" sind deutlich erkennbar. (Franco Dell'Amico)





Obwohl die gesamte Küstenstrecke schon auf Gleichstrom umgeschaltet war gab es am 1. September 1971 noch Hochbetrieb im Depot Savona: E.554.140, E.431.018, E.554.044 und E.432.027 warten auf ihren nächsten Einsatz, ganz links ist eine abgebügelte E.554 zu erkennen. (Franco Dell'Amico)

E.551 für den Einsatz auf Savona - Ceva, sowie zwei E.333, vier E.431 und eine E.432 erweitert.

1960 wurde ein Plan zur Umstellung des Dreiphasennetzes auf Gleichstrom aufgestellt. Dabei entwickelten die Italiener ein recht einfaches System, um den Umbau der zweipoligen Oberleitung ohne größere Verkehrsbehinderungen durchführen zu können. Da die Wippen der italienischen Stromabnehmer recht schmal sind (1450 mm) und ein Zwischenabstand von 50 cm oder mehr zwischen den beiden Fahrdrähten ausgeschlossen war, wurde die bestehende Einrichtung zunächst weiterverwendet. Weil die Spannung fast gleich war konnte man die bestehenden Isolatoren wieder verwenden. Beim Umbau wurden die Querträger abmontiert und die Isolatoren näher zueinandergebracht. Ein Trageil sollte dann später bei vollständiger Erneuerung der Oberleitung zugefügt werden.

Als erste Strecke war die grenzüberschreitende Strecke Limone - St. Dalmas de Tende betroffen.

Da sie mit dem Rückzug der deutschen Truppen 1944 schwer zerstört wurde, wurde der Betrieb auf der ganzen Strecke Cuneo - Ventimiglia inklusive des Abzweigs Nice - Breil-sur-Roya eingestellt. Erst in den 1970er

Jahren sollte die Gesamtstrecke wieder aufgebaut und 1979 schließlich wieder in Betrieb genommen werden - allerdings mit Dieselbetrieb.

Am 28. Mai 1961 folgte die Umstellung der Frejusstrecke zwischen Modane und Alessandria (193 km) mit den Abzweigen Bussoleno - Susa (8 km), Trofarello - Carmagnola (15 km) und Turin - Torre Pellice (55 km). Die Kurzstrecke Bricherasio - Barge (12 km) wurde dagegen eingestellt.

Damit waren alle Dreiphasenstromelektrifizierungen rund um Turin verschwunden. Im selben Jahr wurde die Strecke Turin - Mailand via Vercelli und Novara (153 km) unter 3 kV DC neu elektrifiziert. Am 28. Mai 1961 erschien deshalb in Modane die erste italienische Gleichstromlok. Im selben Jahr wurden alle verbliebenen E.550 (Bj. 1908 bis 1921) ausgemustert.

Am 1. Oktober 1962 sollte das Dreieck Alessandria - Tortona - Arquata Scrivia folgen und ein Jahr später erhielt die "Urstrecke" Arquata Scrivia - Genua nach 51 Jahren Drehstromspeisung nun den Gleichstrom.



Zwei Bilder aus den letzten Tagen des Dreiphasenbetriebs: Oben war die abgebügelte Gleichstromlok E.626.428 gemeinsam mit den Drehstromloks E.554.150 und E.432.018 bei Cantalupo mit einem Personenzug unterwegs. Dieses sonderbare Gespann begründete sich in der Umstellung des Bahnhofes Alessandria auf Gleichstrom, während die Trennstelle auf die freie Strecke Richtung Acqui Terme/Savona verlegt wurde. Aus diesem Grund fahren die Züge damals mit einer Gleichstrom- und zwei Drehstromloks, so dass ein „Mehrsystem-Trio“ entstand. (Franco Dell'Amico)

Am vorletzten Einsatztag (24.5.1976) rangiert die E.554.174 auf einem Industrie-Anschlussgleis in Sezzadio südlich von Alessandria. (Franco Dell'Amico)



Im Mai 1964 wurde die Umschaltung Richtung Savona und Alessandria via Ovada fortgesetzt, während der Lokbestand mittlerweile auf 480 Drehstromloks gesunken war.

1965 fiel dann auch die östliche Einzelstrecke der Umstellung zum Opfer. Am 30. Juni 1965 fuhr die erste Gleichstromlok in den Bahnhof Brennero ein. Am 8. Mai 1967 war die ganze Küstenstrecke bis Ventimiglia unter Gleichstrom elektrifiziert und am 6. Februar 1969 war auch von französischer Seite die Elektrifizierung der Côte d'Azurstrecke fertiggestellt. Im Bahnhof Ventimiglia wurden die Gleise 5 bis 7 unter 1,5 kV DC geschaltet, um so die Gleise für die französischen Zweisystemloks fahrbar zu machen. Italienische Loks nutzten diese Gleise unter halber Leistung.

Das Dreiphasennetz umfasste nun nur noch 437 Streckenkilometer. Doch nun gab es eine längere Pause von sieben Jahren in denen das Drehstromnetz nur um 48 km schrumpfte, als zwei Strecken zwischen Savona und San Giuseppe di Cairo 1973 umgestellt wurden.

Das Ende

Ab 1973 verzögerte die Ölkrise die Arbeiten an der Umstellung. Dennoch wurden am 25. September 1973 die Umbauarbeiten auf den Strecken Carmagnola - Fossano - San Giuseppe di Cairo - Savona (119 km) und Carmagnola - Bra - Ceva (72 km) begonnen. Westlich davon wurde die Strecke Fossano - Cuneo (25 km) ebenfalls umgeschaltet, während auf der Nebenstrecke Ceva - Ormea (26 km) der elektrische Betrieb eingestellt wurde. Als die Arbeiten an der 31 km langen Strecke Cuneo - Limone im Februar 1974 vollendet wurden, blieb nur noch der "Stern" rundum Acqui Terme unter Drehstrom übrig (infolge einer Überflutung im Jahr 1994 wurde der Verkehr auf der Teilstrecke Bra - Ceva übrigens mittlerweile eingestellt).

Anfang 1976 umfasste das Dreiphasennetz nur noch die vier Strecken rundum Acqui Terme nach Alessandria (34 km), San Giuseppe di Cairo (47 km), Ovada (15 km) und Asti (43 km) - insgesamt 139 km. Der Lokbestand war im Mai 1976 ebenfalls auf 30 Exemplare geschrumpft: 2 Loks der Reihe E.431 (Reserve-loks), 13 Loks der Reihe E.432 (9 in Betrieb und 4 Reserve-loks) und 15 Loks der Reihe E.554 (8 in Betrieb und 7 Reserve-loks). Alle waren im Depot Alessandria beheimatet.

Letzte Dreiphasenloks im FS-Bestand am 25.05.1976		
Reihe	Art	Lokomotiven
E.431	Reserve-loks	003, 027
E.432	In Betrieb	001, 008, 009, 018, 026, 030, 031, 033, 035
	Reserve-loks	012, 015, 024, 025
E.554	In Betrieb	072, 100, 111, 128, 130, 142, 174, 177
	Reserve-loks	021, 023, 043, 049, 060, 076, 078

Im Vorfeld den letzten Umstellungen wurden am 18. und 19. Mai 1976 einige Probefahrten zwischen Alessandria und Acqui Terme mit der (spannungslosen) E.656.024, die von einer Diesellok der Reihe D.345 gezogen wurde, angesetzt. Ziel war die Überprüfung, ob die zweipolige Oberleitung einen guten Kontakt mit den schmalen Wippen der italienischen Gleichstromloks ermöglichte. Um Schäden an der E.656.024 auszuschließen, sollte der Strom dabei abgeschaltet werden. Doch irgendwer hatte das nicht mitbekommen. Als die E.656.024 den Stromabnehmer hob, sprangen die Funken über, so dass die schwer beschädigte E.626.024 bei den Testfahrten von der Schwesterlok E.656.026 vertreten werden musste.

Schon im Vorfeld fanden einige Abschiedsfahrten statt. Die letzte folgte dann am 25. Mai 1976. Um 9:45 Uhr fuhr der Abschiedssonderzug 33.019 aus Alessandria - gezogen von der E.432.008 und der abgebügelten E.431.003 - mit den Lokführern Lino Panaro und Carlo Mazza des Depots Alessandria in den Bahnhof Acqui Terme ein. Sofort nach der Ankunft wurden die Stromabnehmer der E.432.008 gesenkt und drei Minuten später, um 9:48 Uhr, der Strom abgeschaltet.

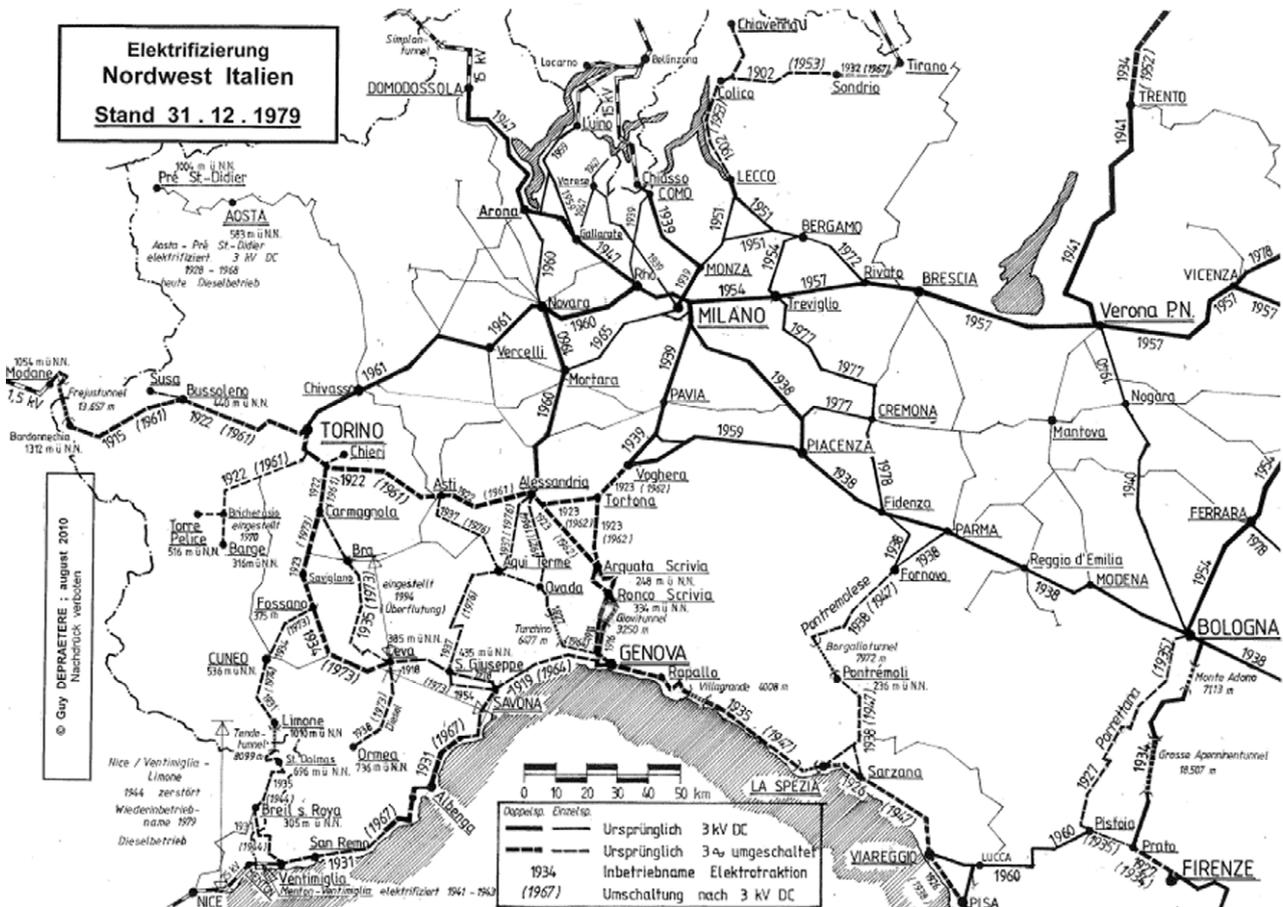
Um 12:00 Uhr wurde die Oberleitung dann wieder eingeschaltet - diesmal unter 3 kV DC. Um 12:15 Uhr verließ dann der Sonderzug 33.014 als erster mit Gleichstrom gespeister Zug von der nagelneuen E.656.026 gezogen, den Bahnhof Acqui Terme in Richtung Alessandria.

Die E.432.008 und E.431.003 kehrten anschließend mit vier Fahrzeugen am Haken und von der Diesellok D 342.1069 geschoben nach Alessandria zurück. In Cantalupo - in der Nähe von Alessandria - wurden dabei die Stromabnehmer und die Bügel ein letztes Mal gehoben. Um 17:00 Uhr wurde das Unterwerk Arquata Scrivia endgültig abgeschaltet und damit das endgültige Ende des Dreiphasenstroms in Italien protokolliert. Eine Epoche von einem Dreiviertel-Jahrhundert kam damit zur Ruhe.

Guy DEPRAETERE
Leuven, 21. November 2010



Der letzte Zeuge einer Epoche: Noch am 2. Juni 1984 erinnerte die abgestellte E.554.070 im Depot Alessandria an den Drehstrombetrieb. Im Hintergrund stehen die Nachfolger in Form der Gleichstromloks der Reihen E.428 und E.626. (Giovanni Demuru)



Die 3-Phasen-Drehstromstrecken der FS (3,6 kV 16 2/3 Hz)					
Strecke	Länge	2. Gleis	von	bis	Jahre
Lecco - Sondrio (3 kV 15 Hz)	79,3		1902	1952	50
Colico - Chiavenna (3 kV 15 Hz)	26,3		1902	1952	50
Genova R - Ronco Scrivia	61,1	61,1	1911/15	1961	50
Torino - Modane	104,4	79,3	1912/20	1961	49
Savona - Ceva	45,6		1914	1973	59
Lecco - Monza	37,3	6,9	1914	1950	36
Sampierdarena - Savona	39,9	29,9	1916	1965	49
Torino b. Sangone - Torre Pellice	54		1917/21	1961	44
Bussoleno - Susa	8		1919	1961	42
Bricherasio - Barge	11,7		1921	1961	40
Trofarello - Chieri	8,6		1921	1961	40
Torino D - Ronco Scrivia	150,4	146,7	1921/22	1961	40
Ronco - Arquata - Tortona	36,3	36,3	1923	1961	38
Alessandria - Tortona - Voghera	38,1	38,1	1924	1961	37
Novi - Tortona	20,4	20,4	1924	1961	37
Hafenbahn Genova	22,3		1924/26	1961	37
Genova R - Viareggio	193,5	153,5	1925/26	1961	36
Bologna - Pistoia - Firenze	131,8	38,8	1927	1934	7
Sampierd. - Ovada - Alessandria	73,7	9,4	1928	1961	33
Bolzano - Brennero	89,3	89,3	1929	1965	36
Trento - Bolzano	56	56	1934	1952	18
Savona - Ventimiglia	108	18	1936	1968	32
Fossano - Cuneo - Ventimiglia	122		1931/35	1973	42
Trofarello - Bra - Ceva	86	15	1935	1961/73	38
Carmagnola - Fossano - Ceva	73	73	1935	1973	38
Bivio Mad. Olmo - Borgo S.D.	12		1937	1960	23
Alessandria - S. Giuseppe di C.	82	7	1937	1976	39
Asti - Acqui Ovada	60		1937	1974/76	39
Ceva - Ormea	35		1938	1973	35
Fornovo - La Spezia/Sarzana	94		1938	1947	9
Ventimiglia - Menton	10		1941	1943	2
S. Giuseppe di C. - Altare - Savona	23		1954	1971	17
Roma - Sulmona (10 kV 45 Hz)	172		1925	1950	25
Summe	2165	878,7	= 3043,7 km		

Literaturhinweise/Quellen

MACHEFERI-TASSIN, Yves: "La fin du triphasé à l'italienne"; La Vie du Rail, Heft Nr. 1559; 19. September 1976; S. 4 - 8.
 "Le Rail en Italie"; Sonderheft Rail - Passion; Juli 2003; 114 S.
 TRÜB, Walter: "Hundert Jahre elektrische Bahnen in der Schweiz"; Orell Füssli Verlag, Zürich; 1988; 168 S.
 FACCHINELLI, Laura: "Die Eisenbahn Verona - Brenner"; Verlaganstalt Atesia, Bozen; 1995; 216 S.
 MASCHERPA, Erminio: "Locomotive trifasi a comando multiplo"; Editrice Trasporti su Rotaie, Salò, 1983; 64 S.
 CORNOLO, Giovanni & PEDRAZZINI, Claudio: "Locomotive elettriche FS"; Ermanno Albertelli Editore, Parma, 1983; 256 S.
 MASCHERPA, Erminio: "E.471 Locomotive di sogno"; Nicolodi Editore, Rovereto 2005; 156 S.
 "Locomotive trifase. Ritratto dal 1902 al 1976"; Duegi Editrice, Albignasego 2003; 128 S.
 DELL'AMICO, Franco; FERRO, Gianfranco; MINGARI, Michele: "Viaggio in trifase. 75 anni di corrente alternata FS"; Edizione A.C.M.E., Milano; 2009; 200 S.
 MOLINO, Nico: "Trifase in Italia 1902 - 1925"; Gulliver, Torino; 1991; 64 S.
 MOLINO, Nico: "Trifase in Italia 1925 - 1976"; Gulliver, Torino; 1991; 64 S.
 WURMSER, Daniel: "Le triphasé italien"; Voies Ferrées; Heft Nr. 180; Juli - August 2010; S. 24 - 35.

Mit besonderem Dank an den Ingenieur Giorgio STAGNI (<http://www.miol.it/stagniweb/>), an Franco DELL'AMICO und an Gianfranco FERRO für die zur Verfügung gestellten Aufnahmen sowie für zusätzliche Informationen.

Weiterführende Internetseiten:

- www.ilmondodetreni.it
- www.miol.it/stagniweb
- www.photorail.com

Auch die italienische Wikipedia-Webseite ist eine gigantische Quelle für Informationen über italienische Strecken und Rollmaterial.

Als die Welt der Drehstromloks in Italien noch in Ordnung war: E 431.015 im Jahr 1954 mit einem Schnellzug in Borgio Verezzi. (Dokument FS Slg. Gianfranco Ferro)

