

# Schiffe auf Schienen

ABB liefert ein einzigartiges Fördersystem für ein schienengeführtes Schiffshebwerk

Klaus Kacy

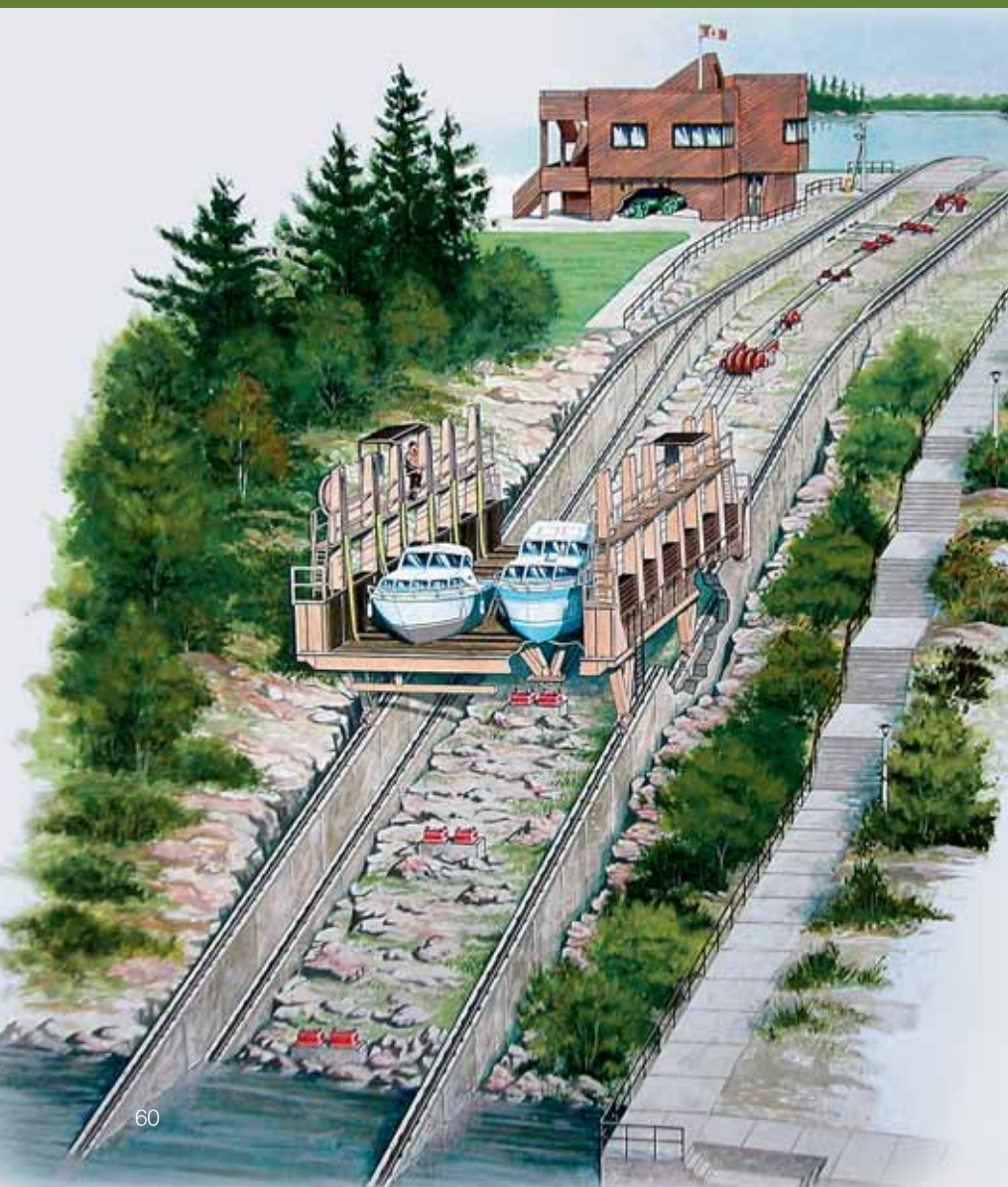
Bei einer Bootsfahrt auf den Wasserstraßen Kanadas denkt wohl kaum jemand an ABB oder Bergbau-Förderanlagen. Dabei ist es genau diese Technik, die eine reibungslose Fahrt ermöglicht.

Der Trent-Severn Waterway ist ein 386 km langes Kanalsystem, das quer durch die Provinz Ontario verläuft und den Lake Ontario mit der Georgian

Bay verbindet. Ursprünglich als Transportweg angelegt, dient er heute hauptsächlich Freizeit- und Erholungszwecken. Auf seiner gesamten Länge passiert der Trent-Severn ein System von 44 Schleusen. Eine davon ist die «Schiffseisenbahn» Big Chute Marine Railway (BCMR).

Das Hauptproblem bei diesem Hebewerk ist die unterschiedliche Neigung

der Strecke – von 20 % Steigung über einen ebenen Abschnitt bis hin zu 20 % Gefälle – die die Lasten ruckfrei bewältigen müssen (Wasserglastest). ABB hat sich der Herausforderung gestellt und ein einzigartiges System auf der Basis von Fördertechnik aus dem Bergbau entwickelt, die speziell auf diese Anwendung zugeschnitten wurde.



Der Trent-Severn Waterway gehört zu den National Historic Sites of Canada und wird von der Parks Canada Agency betrieben. Für die Kanadier ist die Wasserstraße ein wichtiges Zeugnis ihrer Geschichte und Symbol ihrer Identität.

Die Big Chute Marine Railway (BCMR) ist ein Teil dieser Wasserstraße. Boote, die die Anlage passieren wollen, werden auf einen Transportwagen gefahren, der sich zum Teil unter Wasser befindet, und mit Schlingen befestigt. Der auf Schienen laufende Wagen zieht das Boot aus dem Wasser, transportiert es über einen Hang hinweg und setzt es auf der anderen Seite wieder ins Wasser. Der gesamte Vorgang dauert etwa 15 Minuten. Das Bedienpersonal fährt auf dem Transportwagen mit und steuert das System per Funk. Da sich die Boote und der Transportwagen waagrecht bewegen und die Personen darauf meistens stehen, ist eine sanfte «Überfahrt» gefordert.

Mit dem ursprünglichen System der BCMR gab es betriebliche Probleme, sodass sich die Parks Canada Agency nach einigen Vorfällen dazu entschloss, es durch ein zuverlässigeres, sichereres und robusteres System auf der Basis bewährter Bergbau-Fördertechnik zu ersetzen. So bekam ABB den Auftrag für ein neues System mit vier Eintrom-

melwinden einschließlich der notwendigen elektrischen Ausrüstung und Projektierung. Die Vertragsbedingungen waren besonders strikt: Für die Lieferung (einschließlich Inbetriebnahme) standen nur sechs Monate zur Verfügung, und die Gewährleistungsfrist wurde auf fünf Jahre festgelegt. Angesichts der Einzigartigkeit des Systems und des Umfangs der Arbeiten (zu denen auch umfangreiche Tiefbauarbeiten im Maschinenhaus gehörten) war die termingerechte Durchführung des Auftrags eine bemerkenswerte Leistung.

### Seilzüge

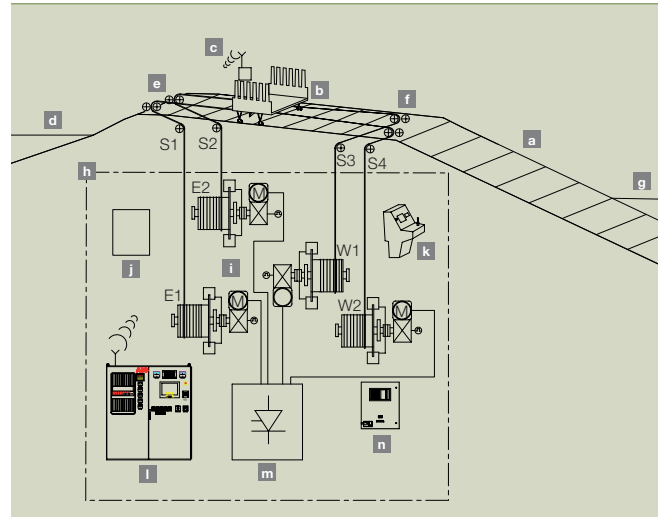
Die BCMR verfügt über ein ausgeklügeltes Seilzugsystem **1** mit vier Eintrommelwinden **5**, von denen sich jeweils zwei auf der Ostseite (E1 und E2) und zwei auf der Westseite (W1 und W2) befinden. Die Seile von der Ostseite laufen über zwei horizontale Umlenkrollen (S1 und S2) zu den vertikalen Rollen am östlichen Übergangspunkt **a**, und von dort zu einer Zugplatte unter dem Transportwagen **b**. Analog dazu laufen die Seile von der Westseite über den westlichen Übergangspunkt **f** zum Transportwagen.

In der in **2** dargestellten Situation befindet sich der Transportwagen zwischen den beiden Übergangspunkten **e** und **f**, wobei die Seile an beiden Seiten des Wagens befestigt sind **3**. Jenseits der Übergangspunkte greifen alle Seile von einer Seite **3**.

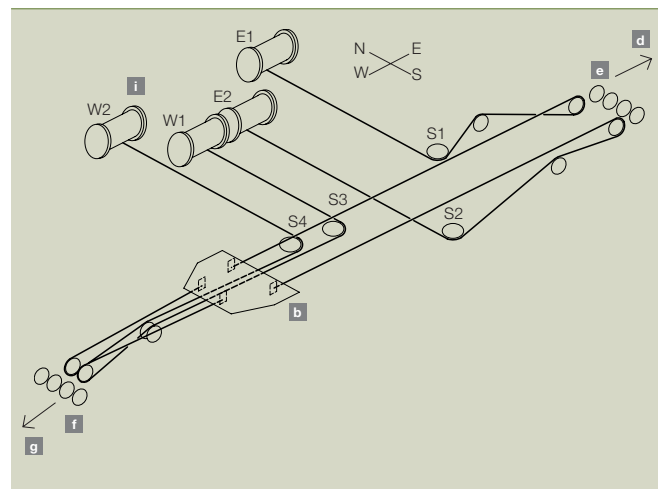
### Ein neues Windensystem für die BCMR

Bedingt durch die Konfiguration der Bahn und die Anordnung der Seilzüge müssen die Antriebe der Seilwinden je nach Zugrichtung und Position des Transportwagens auf verschiedene Weise arbeiten. Fährt die Anlage von Ost nach West (also in **1** von links nach rechts), arbeitet der Antrieb wie folgt: Zwischen dem östlichen Ende **d** und dem östlichen Übergangspunkt **e** wird

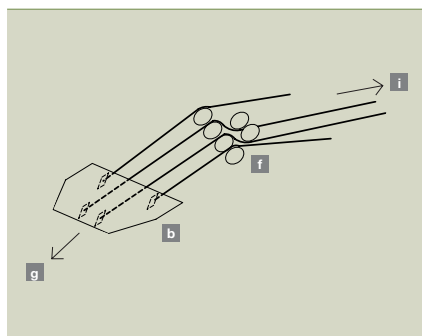
- 1** Das Hebewerk und das Maschinenhaus: **a** Schienen, **b** Transportwagen, **c** Bedientafel auf dem Transportwagen, **d** östliches Ende der Bahn, **e** östlicher Übergangspunkt, **f** westlicher Übergangspunkt, **g** westliches Ende, **h** Maschinenhaus, **i** vier Eintrommelwinden, **j** Bremssteuerungseinheit, **k** Steuerpult, **l** Steuerschrank mit lokaler Bedientafel, **m** Gleichstrom-Antriebssystem, **n** «Electronic Lilly» (SPS)



- 2** Verlauf der Seilzüge des Hebewerks. Die Seile ändern ihre Laufrichtung, wenn der Transportwagen die Umlenkrollen S1–S4 passiert.



- 3** In **2** wirken die Seile auf beide Seiten des Transportwagens. Nach Passieren des Übergangspunktes **f** laufen alle Seile in dieselbe Richtung.



die Last von allen vier Winden gezogen (Motormodus). Auf dem Abschnitt zwischen den Übergangspunkten **e** und **f** fährt der Transportwagen hangabwärts und die Seilwinden E1 und E2 arbeiten im Bremsmodus (Regenerationsmodus). Damit die Seile der Winden W1 und W2 straff bleiben, müssen beide Winden ein bestimmtes Zugmoment liefern, d. h. sie arbeiten im Motormodus. Die gesamte Seilkraft, die auf den Transportwagen wirkt, entspricht der Differenz zwischen der Bremskraft von den Winden E1 und E2 und der Zugkraft von den Winden W1 und W2. Befindet sich der Transportwagen zwischen dem westlichen Übergangspunkt **f** und dem westlichen Ende der Bahn **g**, wird die Last von allen vier Winden gehalten (Regenerationsmodus). In der Gegenrichtung sind ähnliche Übergänge in den Betriebsarten erforderlich.

Ein charakteristisches Merkmal des Systems ist die Umkehr der Drehzahl eines Windenpaares beim Passieren des Übergangspunktes. Passiert der Transportwagen zum Beispiel den östlichen Übergangspunkt **e**, behalten die Winden W1 und W2 ihre Drehzahl entsprechend der Geschwindigkeit des Transportwagens bei, während die Winden E1 und E2 ihre Drehzahl verlangsamen, anhalten und ihre Drehrichtung ändern (Übergang vom Aufrollen zum Abrollen).

Die Anforderungen an das Steuerungs-, Antriebs- und Bremssystem für die Winden sind in der **Infobox** beschrieben.

### Systemüberblick

#### Winden

Das System verfügt über vier Eintrommelwinden **5** mit einem Trommeldurchmesser von 2,14 m und spiralförmigen Rillen, in denen das 32 mm starke Seil läuft. Jede Winde ist mit vier Hochdruck-Bremseinheiten ausgestattet (zwei auf jeder Seite), die auf eine Scheibe wirken. Die Trommel wird über ein

## Transportwesen



Getriebe von einem Gleichstrommotor angetrieben. Aufgrund des begrenzten Platzes sind die Motoren senkrecht angeordnet. Die relativ geringen Ausmaße des Windenraums werden durch Umweltauflagen vorgegeben, die das Aussehen des gesamten Maschinenhauses bestimmen (da es sich in einem Park befindet, darf sein äußeres Erscheinungsbild keinen industriellen Charakter haben).

#### Bremssteuerung

Das Bremssteuerungssystem besteht aus zwei unabhängigen Einheiten mit je einem Notbremsregler, der eine sanfte aber wirkungsvolle Verzögerung unter allen Lastbedingungen gewährleistet. In einer Notsituation muss das Bremsystem in der Lage sein, unterschiedliche Verteilungen des Bremsmoments zwischen den Winden zu berücksichtigen. Dies wird durch eine unterschiedliche Verteilung des Bremsdrucks zwischen den beiden Steuerungssystemen und durch einen verzögerten Einsatz der Bremsenheiten für die Winden im «Zugmodus» erreicht. Die Hydraulik des Bremssteuerungssystems **6** besteht aus standardmäßigen

**4** Die Seile sind so am Transportwagen befestigt, dass alle vier Seile von der gleichen Seite oder jeweils zwei von jeder Seite ziehen können.



ABB-Hydraulikstationen, wie sie für Schachtförderanlagen verwendet werden. Hierbei handelt es sich um eigenständige Einheiten mit zwei Pumpen (eine laufende und eine in Bereitschaft), einem Öltank, Ölaufbereitungskomponenten und Ventilen für eine geregelte und unregelte Verzögerung.

#### Windensteuerung

Die Steuerung für die Winden befindet sich in einem Schaltschrank, der mit einer vorderseitigen Bedientafel und einer modernen Mensch-Maschine-Schnittstelle ausgestattet ist. Diese Tafel wird hauptsächlich für Wartungsarbeiten genutzt.

Die SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) übernimmt sämtliche Steuerungs- und Sicherheitsaspekte der Winden. Auch hier handelt es sich im Wesentlichen um ein standardmäßiges ABB-System für Schachtförderanlagen mit zusätzlichen Funktionalitäten für die besonderen Anforderungen dieser Anlage. Eines der besonderen Merkmale ist die Positionsbestimmung des Transportwagens. Hierzu werden Positionssignale von allen Winden über Inkrementalgeber an das System übermittelt. Da die Position und Geschwindigkeit der Winden in den Übergangsbereichen nicht der Geschwindigkeit und Position des Transportwagens entspricht, besitzt die SPS zur Steuerung der Winden eine Softwarefunktion, die einen «ruckfreien» und präzisen Übergang der Geschwindigkeits- und Positionssignale von einem Windenpaar zum anderen gewährleistet.

#### Steuerstationen

Das BCMR-System verfügt über insgesamt sieben Steuerstationen für die Winden. Im normalen Betrieb wird die Steuerstation des Transportwagens ver-

wendet, die über eine Funkverbindung mit dem System kommuniziert. Die anderen dienen in erster Linie zu Wartungs- und Inspektionszwecken.

#### Antriebssystem

Das Hebewerk ist mit zwei digitalen ABB-Antrieben vom Typ DCS-502 ausgerüstet. Ein Antrieb steuert die östlichen Winden und einer die westlichen. Zu Wartungszwecken kann jeder Antrieb so geschaltet werden, dass er nur mit einem Motor betrieben wird. Die Antriebssoftware verfügt über eine ganze Reihe von Merkmalen, die speziell für dieses System entwickelt wurden. Dazu gehören:

- Drehzahl- bzw. Drehmomentregelungsmodus, je nach Lastbedingungen (Fahrtrichtung und Position des Transportwagens)
  - Im Drehmomentregelungsmodus kann sich das Drehmoment (Strom) entweder nach dem Drehmoment des anderen Windenpaars richten oder auf eine minimale Seilspannung eingestellt werden.
  - Zwischen den Betriebsarten erfolgt ein sanfter, «ruckfreier» Übergang.
  - Unterschiedliche Logik und Parameter für den Betrieb mit einem Motor.
- Beide Antriebe verfügen über eine EMK-Regelung (elektromotorische Kraftregelung), wie sie in vielen ABB-Antrieben für Hebezeuge zum Einsatz kommt. Bei diesem System erreichen beide Motoren ihre Nennspannung bei 70% der Drehzahl. Danach wird die Spannung der Motoren (EMK) durch Regelung des Motorfelds konstant gehalten. Eine solche Regelungsstrategie bietet zahlreiche Vorteile. So werden Störungen des Netzes durch den Antrieb minimiert (durch einen besseren Leistungsfaktor, niedrigeren Spannungsabfall und geringere Oberschwin-

**Infobox** Anforderungen an das Steuerungs-, Antriebs- und Bremssystem der Big Chute Marine Railway**Antriebs- und Steuerungssystem**

- Um die gleiche Seilspannung in jedem Windenpaar zu gewährleisten, muss die Zugkraft und die bewegte Seillänge bei beiden Winden jederzeit gleich sein.
- Wenn alle Winden im gleichen Modus (Motor- oder Regenerationsmodus) arbeiten, muss die momentane Zugkraft in allen vier Winden gleich sein.
- Um ein Lockern der Seile zu verhindern, wenn ein Windenpaar im Motormodus und das andere im Regenerationsmodus arbeitet, muss die Zugkraft der von unten auf den Transportwagen wirkenden Winden konstant sein.
- Da im Bereich der Übergangspunkte die Geschwindigkeit des einen Windenpaares nicht der Geschwindigkeit des Transportwagens entspricht (die Winden ändern in diesem Bereich ihre Drehrichtung), muss das andere Paar die Regelung der Geschwindigkeit (und Position) in diesem Bereich übernehmen. Das heißt, am östlichen Übergangspunkt sind die westlichen Winden für die Geschwindigkeits- und Positionsregelung verantwortlich und umgekehrt. Der Übergang der Geschwindigkeits-/Positionsregelung von einem Windenpaar zum

anderen muss «ruckfrei» und präzise erfolgen.

- An jedem Übergangspunkt muss ein sanfter und allmählicher Drehmomentwechsel von einem konstanten Drehmoment mit minimaler Zugkraft von einem Windenpaar bis zu einem gleichen Drehmoment von allen Winden und umgekehrt erfolgen. So werden Geschwindigkeitsschwankungen minimiert, die sich durch das Zusammenwirken von der Flexibilität der Seile, dem Gewicht der horizontal aufgehängten Seile und der großen Masse des Transportwagens mit der Nutzlast (fast 200 t) verstärken können.

**Bremssystem**

- Um im Notfall ein sanftes und sicheres Abbremsen unter verschiedenen Lastbedingungen zu gewährleisten, sind entsprechende Notbremsregelungen erforderlich.
- Bei einer Notbremsung muss das Drehmoment, falls notwendig, unterschiedlich zwischen den Windenpaaren verteilt werden. So wird zum Beispiel bei der Fahrt hangabwärts von Ost nach West die auf den Transportwagen wirkende Notbremskraft (Drehmoment) nur von den östlichen Winden bereitgestellt. Das Bremsmoment der

westlichen Winden muss kleiner sein als das Moment, das zum Abbremsen der rotierenden Massen dieser Winden erforderlich ist, um ein Lockern der Seile zu verhindern. Gleichzeitig wird ein «Federn» verhindert, das auftreten kann, wenn die Winden überhaupt keine Bremsleistung liefern würden.

- Bei der Fahrt hangaufwärts am westlichen Hang (alle Winden im Motormodus) ist ein minimales Notbremsmoment erforderlich, damit die Trommeln der Winden nicht schneller abbremsen, als der Transportwagen durch die Gravitation abgebremst werden kann. So wird ein übermäßiges Lockern der Seile verhindert. Außerdem ist nach dem Anhalten ein geringeres mechanisches Bremsmoment erforderlich, um einen sanften Rücklauf der Winden (und des Transportwagens) während des «Peitscheneffekts» zu gewährleisten, der durch die lockere Seile hervorgerufen wird. Dadurch wird die Seilspannung während des Peitscheneffekts und das «Federn» des Transportwagens reduziert, das auftreten würde, wenn sofort nach dem Anhalten der Winden die volle Bremskraft ausgeübt würde.

5 Ein Blick in den Windenraum mit den vier Winden zeigt, wie begrenzt der Platz in dem Gebäude ist.



6 Bremssteuerventile an den Winden – bewährte ABB-Technik aus dem Bergbau eignet sich auch zum Transport von Schiffen.



gungen) und der Wechselstromanteil (AC-Ripple) in den Motoren sowie der DC-Kurzschlussstrom (Kurzschlussdrehmoment des Motors) reduziert.

**Reibungsloser Betrieb dank ABB**

Das Hebewerk ist für maximale Nutzlast von 90 Tonnen ausgelegt. Eine einfache Fahrt durch die Anlage dauert 15 Minuten, und seit der Inbetriebnahme wurden 11.000 Boote transportiert.

Das Windensystem hat seine Zuverlässigkeit bewiesen und funktioniert während der gesamten Gewährleistungsfrist ohne Probleme. Parks Canada ist sehr zufrieden mit der Leistung des Systems, mit dem ABB einmal mehr ihre Kompetenz auf dem Gebiet der Hebe- und Fördereinrichtungen und die Qualität ihrer Ausrüstung unter Beweis gestellt hat.

**Klaus Kacy**

ABB Automation, Mining Division  
Burnaby, BC, Kanada  
klaus.w.kacy@ca.abb.com

**Literaturhinweise**

- [1] Kacy, K.: «Advantages Of Digital Control In Mine Hoist Applications», CIM Conference in Montreal, Kanada 1998
- [2] Kacy, K., O'Neil, B.: «Multiple Hoisting System for Incline Haulage with Positive and Negative Slope», Hoist & Haul 2005 Conference, Perth, Australien