



BMBF- Förderprogramm

*Integrierter Umweltschutz in der Metallerzeugung*

# **Einsparung an Rohstoffen und Reduzierung der Umweltbelastung durch Verbesserung des Ausbringens bei der Erzeugung von Stahlbändern**

## **Schlussbericht**

zu dem vom BMBF geförderten Verbundprojekt der Partner

Betriebsforschungsinstitut, VDEh-Institut für Angewandte Forschung GmbH (BFI)

und

EKO Stahl GmbH, Eisenhüttenstadt (EKO)

Laufzeit: 01.09.2002 – 31.08.2006

Autoren: Roger Lathe (BFI)  
Frank Molder (EKO)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01 RW 0172 und 01 RW 0173 gefördert.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><i>Aufgabenstellung</i></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><i>Voraussetzungen</i></b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b><i>Planung und Ablauf des Vorhabens</i></b>	<b>2</b>
<b>3.1</b>	<b>Bestimmung der Vorbandbreite</b>	<b>2</b>
3.1.1	Versuche am Versuchswalzwerk	2
3.1.2	Ableitung eines Berechnungsmodells für die Vorausberechnung der Breite	2
3.1.3	Adaption an eine Warmbandstraße	3
<b>3.2</b>	<b>Vermeidung von Unsymmetrien der Bandform in der Warmbandvorstraße</b>	<b>3</b>
3.2.1	Betriebsmessungen	3
3.2.2	Auswertung und Analyse der Betriebsmessungen	3
3.2.3	Entwicklung eines Modells zur Voreinstellung der Walzstraße	3
3.2.4	Implementierung des Modells	3
3.2.5	Überprüfung der Geometrie des Fertigbandes	3
<b>3.3</b>	<b>Installation und Inbetriebnahme von Meßsystemen</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b><i>Stand der Wissenschaft und Technik</i></b>	<b>4</b>
<b>4.1</b>	<b>Bandbreite</b>	<b>4</b>
<b>4.2</b>	<b>Bandsäbel</b>	<b>4</b>
<b>4.3</b>	<b>Banddickenprofil</b>	<b>9</b>
<b>4.4</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b><i>Zusammenarbeit mit anderen Stellen</i></b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b><i>Genutzte Versuchseinrichtungen und industrielle Warmbandstraße</i></b>	<b>11</b>
<b>6.1</b>	<b>Versuchswalzwerk für Plastilinproben</b>	<b>11</b>
<b>6.2</b>	<b>Versuchswalzwerk am MPI für Eisenforschung</b>	<b>12</b>
<b>6.3</b>	<b>Warmbreitbandstrasse der EKO-Stahl GmbH</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b><i>Ergebnisse</i></b>	<b>19</b>
<b>7.1</b>	<b>Analytischen Breiungsmodells zur Vorausberechnung der Vorbandbreite</b>	<b>19</b>
7.1.1	Versuche am Versuchswalzwerk	20
7.1.2	Ableitung einer empirischen Breiungsgleichung	24
7.1.3	Anpassung der Breiungsformel an die Warmbandvorstraße	29
<b>8</b>	<b><i>Laborversuche zur Untersuchung der Bandsäbelentstehung und -reduzierung</i></b>	<b>34</b>
<b>8.1</b>	<b>Versuche mit Plastilinproben</b>	<b>34</b>
8.1.1	Einfluss unsymmetrischen Stauchens auf die Säbelentstehung	35
8.1.2	Einfluss der Seitenführungen auf die durch Schwenken hervorgerufene Säbelentstehung	38

<b>8.2</b>	<b>Versuche mit Bleiprobe</b>	<b>42</b>
8.2.1	Vermessung der Proben	44
8.2.2	Einfluss unsymmetrischen Stauchens auf die Säbelentstehung	46
8.2.3	Einfluss des Walzenschwenkens auf die Säbelentstehung	49
8.2.4	Einfluss des Gegenschwenkens bei zuvor generierten Säbelproben	52
8.2.5	Einfluss des Walzens mit geradem Walzspalt bei zuvor generierten Säbelproben	54
8.2.6	Einfluss des leichten Walzenschwenkens bei zuvor generierten Säbelproben	55
8.2.7	Einfluss eines keilförmigen Dickenprofils auf die Säbelbildung	58
8.2.8	Einfluss der Seitenführungen bei der Generierung und dem Walzen von Säbelproben	59
<b>9</b>	<b><i>Betriebsuntersuchungen zur Säbelbildung an einer Warmbandvorstrasse</i></b>	<b>64</b>
<b>9.1</b>	<b>Messsystem zur Erfassung des Bandsäbels</b>	<b>64</b>
<b>9.2</b>	<b>Bestimmung des Bandsäbels mit Hilfe der gemessenen Größen</b>	<b>66</b>
9.2.1	Umrechnung der zeitbezogenen Werte in ortsbezogene Werte	66
9.2.2	Berechnung der Bandkrümmung unter Verwendung der Bandkantenpositions- und neigungswerte	66
9.2.3	Berechnung der Bandkrümmung ohne Verwendung der Bandkantenneigungswerte	68
9.2.4	Berechnung der Koeffizienten des die Bandmittenlinie beschreibenden Polynoms	70
9.2.5	Zusammenfassende Vorgehensweise bei der Bandkrümmungsbestimmung	72
<b>9.3</b>	<b>Datenbasierte Modellierung der Bildung des Bandsäbels</b>	<b>74</b>
9.3.1	Datenerfassung	74
9.3.1.1	Prozessparameter-Vorwalzen	74
9.3.1.2	Prozessparameter-Ofen	77
9.3.2	Bestimmung der relevanten Einflussgrößen	81
9.3.3	Anwendung der neuronalen Netze für die datenbasierte Modellierung	86
<b>9.4</b>	<b>Bewertung der datenbasierten Modellierung</b>	<b>90</b>
<b>9.5</b>	<b>Installation und Verwendung des datenbasierten Modells zur Vorsteuerung des Horizontalgerüsts</b>	<b>91</b>
<b>10</b>	<b><i>Weitere Maßnahmen zur Vermeidung des Bandsäbels</i></b>	<b>93</b>
<b>10.1</b>	<b>Vermeidung von Bandsäbeln durch verbesserte Seitenführungen</b>	<b>96</b>
<b>11</b>	<b><i>Voraussichtlicher Nutzen und Ergebnisauswertung</i></b>	<b>97</b>
<b>11.1</b>	<b>Wirtschaftlichkeit und umweltentlastende Effekte am Beispiel der EKO-Stahl</b>	<b>97</b>
<b>12</b>	<b><i>Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens</i></b>	<b>98</b>
<b>13</b>	<b><i>Geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse</i></b>	<b>98</b>
<b>14</b>	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b>	<b>99</b>

## 1 Aufgabenstellung

Die ständige Verbesserung von Produktionsverfahren, so auch des Warmwalzprozesses bei der Herstellung von Stahlbändern, ist auch zukünftig eine ständige und unabdingbare Notwendigkeit für jedes Stahlunternehmen, um auf dem Weltmarkt bestehen zu können.

Eines der bei der Warmbänderzeugung bestehenden Probleme ist die z.T. unzureichende Einstellung von Vorband- und Fertigbandbreite. Deshalb sind Breitenzuschläge erforderlich mit der Folge von erhöhtem Material-, Rohstoff- und Energieverbrauch und somit verringerter Wirtschaftlichkeit.

Von gleicher Bedeutung für den Prozess und zusätzlich auf Produktqualität und Ausbringen ist die Vermeidung von so genannten Bandsäbeln. Dies sind Abweichungen von der Geradheit des Bandes, die sowohl die Gleichmäßigkeit des Banddickenprofils über der Bandlänge in der Fertigstraße nachteilig beeinflussen, als auch zu erheblichen Prozessstörungen bis hin zu den Bandbehandlungslinien, die sich dem Kaltwalzprozess anschließen, führen können.

Das Ziel der geplanten Arbeiten bestand darin, Strategien zu entwickeln und in Produktionsanlagen zu implementieren, die bereits in der Warmbandvorstraße zu einer günstigen Beeinflussung der Maßhaltigkeit der Bandbreite, des Banddickenprofils sowie der Geradheit des Bandes führen und damit Qualität und Ausbringen deutlich erhöhen.

Das sollte u.a. dadurch erreicht werden, dass die unterschiedlichen Erfahrungen aus dem Bereich der industriellen Bandherstellung und den Möglichkeiten der Forschung zusammengeführt werden. Als rein technologisches Ergebnis ist eine sichere Prozessführung bei der Herstellung von Bänderzeugnissen zu erwarten. Dies gilt vor allem hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit der gewalzten Produkte als auch im Hinblick auf eine verbesserte Prozesssicherheit mit geringeren Störungen und höherem Materialausbringen. Als Folge einer Verbesserung der Prozessführung ergibt sich gleichzeitig ein geringerer Materialverbrauch verbunden mit deutlichen Energie- und Rohstoffeinsparungen.

Als Ziel wurde geplant, eine Erhöhung der Ausbringung von 0,1% bis 0,2% zu erlangen. Dies würde bei einer Vermeidung von 50% der Bandsäbelfehler und einer Verminderung der Breitenzuschläge von ca. 1mm erreicht werden. Ausgehend von einer jährlichen Warmbandproduktion der EKO-Stahl von 1,8 - 2 Mio. t ergäbe sich bei einer Ausbringungsverbesserung von 0,1% eine Einsparung von 1800-2000 t Warmband pro Jahr. Diese Einsparung entspricht nach einer Auswertung des Ausschusses „Energiewirtschaft europäischer Hüttenwerke“ eine jährliche Energieeinsparung von 32 400-36 000 GJ sowie eine jährliche Vermeidung der CO<sub>2</sub>-Emission um 3200-3600 t.

## **2 Voraussetzungen**

Voraussetzung für die Durchführung des Projektes war u.a. die Erfassung von Prozessdaten sowie der Bandgeometrie and der Vor- und Fertigstrasse der Warmbreitbandstrasse der EKO-Stahl. Die Prozessdaten sollten dabei sowohl online (für die später zu installierende Steuerung) als auch offline (für Analyse der Daten und die zu entwickelnden Programme) zur Verfügung stehen. Für die Erfassung der Bandgeometrie, insbesondere der Erfassung des Bandsäbels, war die Installation eines neuen Messsystems an der Vorstrasse erforderlich.

## **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Vorhaben wurde in Zusammenarbeit des Betriebsforschungsinstituts und der EKO Stahl an der Warmbreitbandstrasse der EKO Stahl durchgeführt. Der im Folgenden kurz beschriebene Arbeitsplan ist in drei Themenschwerpunkte aufgeteilt, innerhalb derer die durchzuführenden Untersuchungsschritte aufgeführt sind.

### **3.1 Bestimmung der Vorbandbreite**

Die Stichfolge am Reversier- und Vorgerüst ist immer eine Kombination aus mehreren Horizontal- und Vertikalstichen. Die für eine Onlineberechnung geeigneten veröffentlichten Berechnungsmodelle eignen sich nur für die Vorausberechnung der Breite eines Horizontalstichs und können deswegen nur bedingt für eine ausreichend genaue Breitungsberechnung für solche kombinierten Stichfolgen herangezogen werden.

#### **3.1.1 Versuche am Versuchswalzwerk**

Durch Modellversuche an einem Versuchswalzwerk wird das Breitungverhalten an Bandproben bei einer Folge von Horizontal- und Vertikalstichen ermittelt. Die Versuche werden mit Stahlproben unterschiedlichen Werkstoffs bei betriebsüblicher Walztemperatur und mit Bleiproben bei Raumtemperatur durchgeführt. (Das Fließverhalten von Bleiproben bei Raumtemperatur ist vergleichbar mit dem von Stahlproben bei Warmwalztemperatur. Bleiproben haben dabei den Vorteil einer wesentlich besseren Handhabung).

#### **3.1.2 Ableitung eines Berechnungsmodells für die Vorausberechnung der Breite**

Es wird eine Analyse der Versuchsergebnisse im Hinblick auf Abhängigkeiten und Einflussgrößen durchgeführt, die für das Breitungverhalten maßgeblich sind. Basierend auf diesen Ergebnissen wird ein Berechnungsmodell für die Vorausberechnung der Bandbreite für eine Folge von Horizontal- und Vertikalstichen entwickelt.