

Software optimiert Coilgrößen bei ThyssenKrupp Steel

Software optimises coil size at ThyssenKrupp Steel

Thomas Glaß, Frank Lauterbach, Eckhard Michel, Martin Palubitzki und Stephan Überschär

In einem Regelkorridor aus technischen, qualitativen und betriebswirtschaftlichen Parametern lässt sich die Coilgröße zum Durchsatz durch ein Kaltwalzwerk steigern. Höhere Coilgewichte und somit eine geringere Coilanzahl haben leistungssteigernde Effekte in mehreren Teilprozessen. Die hierzu notwendige, komplexe Arithmetik hat die ThyssenKrupp Steel AG intensiv neu spezifiziert und mit der PSI-BT GmbH, einem auf die Stahlindustrie spezialisierten Systemlöser, datentechnisch neu implementiert. Neben der Fähigkeit, die Coilgewichte zu steigern, wurde ein hohes Maß an Flexibilität und Transparenz von der Anwendung verlangt.

Coil size affects the flow rate of a cold rolling mill. Bigger coil size decreases the number of coils and thus leads to enhanced performance in several stages of the production process. The necessary technical, qualitative and business parameters lead to a complex arithmetic that has been carefully specified by ThyssenKrupp Steel AG and implemented together with PSI-BT GmbH, a solution provider for the steel industry. Besides increasing coil weights, high flexibility and transparency of the system were important requirements.

Die Coilgröße ist in der Produktion von Flachstahl ein nicht unerheblicher Faktor in der Leistungssteigerung. Höhere Coilgewichte und damit größere Coillängen und geringere Coilstückzahlen haben positive Auswirkungen auf viele leistungsbestimmende Prozeduren in der Produktion. Coilbewegungen und Lagerplatzbedarf werden reduziert, verminderte Coilaufläufe und Bandbereinigungen verbessern die Rüstzeiten der Produktionsanlagen. Die Nutzung der Bandspeicher in kontinuierlichen Anlagen optimiert sich und die Produktionsgeschwindigkeiten können dank größerer Bandlängen erhöht oder besser ausgenutzt werden. Auch die Sockelgewichte einer Haubenglühe erhöhen sich. Diese Auflistung ist nicht vollständig.

Einflussgrößen der Warmbandgewichte sind die Brammengeometrie sowie Möglichkeiten des Warmwalzens und des Krantransportes. Beim Einsatz des Warmbandes in ein Kaltwalzwerk bietet sich häufig gleich das erste Produktionsaggregat, die Beize, zur Optimierung der Coilgröße an. Mit dem Schweißen mehrerer Einsatzwarmbänder zu Beginn des Beizvorganges und dem Schneiden/Teilen vergrößerter Erzeugungscoils am Beizauslauf sind vergrößerte Coils („Großcoils“), Bild 1, für den übrigen Fertigungsprozess geboren.

Komplexer Regelkorridor

Das Aufspüren einer optimalen Schweiß-/Schneidvorgabe (n Warmbänder : m Kaltbänder, Bild 2) findet in einem komplexen Regelkorridor statt, der vor die Reihenfolgebildung für die Beizen geschaltet ist. In der



1

Der Unterschied zwischen Normcoils und Großcoils aus den Schneidergebnissen der Beizen ist deutlich erkennbar

The difference between normal coils and super coils resulting from welding and cutting in the pickling lines are clearly visible

Reihenfolgebildung werden dann bereits die Schweißkombinationen als Fixum angewendet.

Im Regelkorridor kennen wir zum einen die technisch-geometrischen Bedingungen. Coilaußendurch-

Dr. Thomas Glaß, PSI-BT GmbH, Düsseldorf; Dipl.-Kfm. Frank Lauterbach; Dipl.-Inf. Eckhard Michel; Martin Palubitzki; Dipl.-Ing. Stephan Überschär, Projektteam der Kaltwalzwerke Bochum und Dortmund, ThyssenKrupp Steel AG.

messer, Wickelhöhe, Kippverhältnis und Coilgewicht sind einige dieser Parameter, die durch den weiterverarbeitenden Prozess bzw. seiner Kran-, Transport- und Anlagenmöglichkeiten diktiert werden. Zum anderen gibt es auch die Restriktionen der Reihenfolgebildung wie Dicken- und Breitenverläufe, Mindestlaufzeiten zur Bandspeichernutzung sowie Besäumzwänge. Zu berücksichtigen sind aber auch die qualitativen Zwänge, die sich aus der Folgefertigung ergeben. Hohe Oberflächenanforderungen und werkstoffabhängige Schweißbarkeiten sind hier beispielhaft zu nennen. Nicht unerwähnt bleiben sollen aber auch negative Einflüsse bei Großcoils, wenn diese aus mehreren zusammenschweißten kleineren Coils entstehen. Beispielsweise kommt es in der Haubenglühe zu erhöhter Klebergefahr oder die Schweißnähte führen zu Oberflächenfehlern, die bei Automobilaußenhautteilen nicht tolerabel sind. Dies macht deutlich, dass eine Einzelfallprüfung/Abwägung stattfinden muss.

Die Vorgaben und Wünsche des Kunden gilt es zu bedenken. Bestellte Coilgrößen des endgefertigten Materials inklusive etwaiger Beschichtungen und fertigungsüblicher Ausbringungsverluste müssen ebenso kalkuliert werden wie Anzahl und Lage der Schweißnähte und deren Kennzeichnungsparameter. Hierbei muss angerechnet werden, wie Anlagen im späteren Produktionsablauf weitere Schweiß-/Schneidvorgänge

vollziehen. Letztlich verfolgen wir auch an dieser Stelle uneingeschränkt unsere Ziele wie Termintreue, Materialdurchlaufzeiten und Kapazitätsauslastung.

Modernisierung in neuer Systemarchitektur

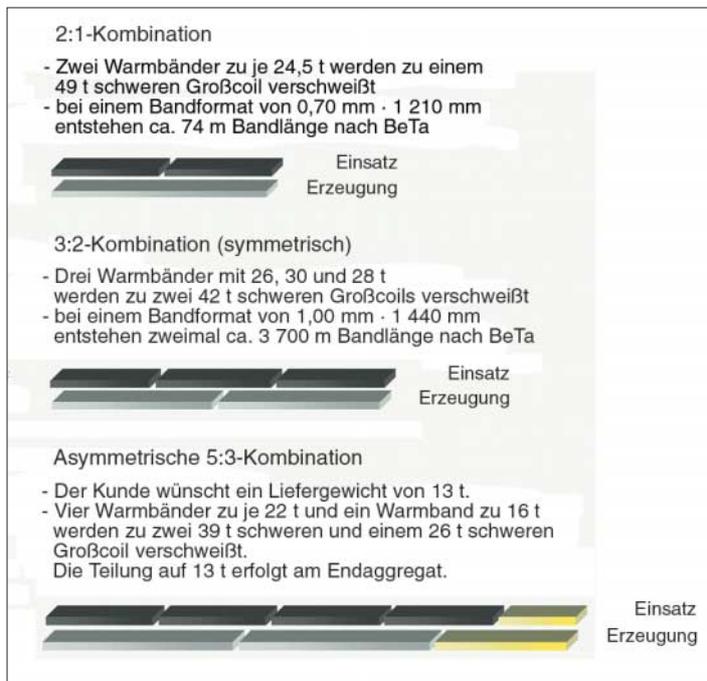
ThyssenKrupp Steel hat in den Kaltwalzwerken Bochum und Dortmund, Bilder 3 und 4, eine „Warmband-Kaltband-Kombination“ zur Coilgrößenoptimierung bereits seit den 1970er-Jahren im Einsatz. An beiden Standorten erzeugt TKS-CS im Kaltflach-Segment unbeschichtetes sowie elektrolytisch- und schmelztauchveredeltes Feinblech. Dabei können am Standort Dortmund maximale Coilgewichte von bis zu 50 t (in Bochum 39 t) nach den Kaltwalzstraßen bewältigt werden – eine gute Basis zur Coilgrößenoptimierung.

In der datentechnischen Lösung dieses komplexen Vorganges, die bis in das Jahr 2004 im Einsatz war, war das Aufspüren einer möglichen Schweißvorgabe im Wesentlichen Handarbeit. Die angewendete Software unterstützte zwar die Anzeige wesentlicher technischer Regeln, konnte den Anwender jedoch nicht in die Tiefen der Komplexität begleiten. Ein Algorithmus zur Optimumfindung war gar nicht enthalten. Damit waren zwangsläufig enge Grenzen in diesem Prozess gesetzt.

Mit der Ablösung kostenintensiver Großrechner, Umgestaltung der Systemarchitektur und zugehöriger Fertigungsleitsysteme galt es auch, diesen Prozess neu einzubinden. Eine umfangreiche Analyse des vorhandenen Regelwerkes, der datentechnischen sowie prozessdiktieren Umgebung zeigte z. B. für Bochum ein Verbesserungspotential von nahezu 80 % (bezogen auf die Anzahl durchgesetzter Großcoils) auf. Dies schien allerdings nur mit algorithmischer Unterstützung greifbar. Die abgeleiteten Details, die neben einer deutlich intensiveren Ausnutzung des Regelkorridors (und damit seiner Komplexität) insbesondere auch eine Ausweitung des für Anwendung und Anwender sichtbaren Materialhorizontes vorsah, erlaubten gleichzeitig eine Verbesserung der Terminorientierung.

Projektspezifikation

Ein kleines, den Standort Bochum und Dortmund vertretendes Projektteam spezifizierte die Regeldetails in Form einer strukturierten Regeltypkette, Bild 5, und stellte eine systemunterstützte Arbeitsmethodik als Maximallösung zusammen. Die Fähigkeiten der angestrebten Softwarelösung sollten neben einfacher, flexibler Konfiguration der Datenanbindung, Datenvisualisierung und vorhandener Regeln unbedingt einen fähigen und anwenderverständlichen Algorithmus enthalten. Trotz eines hohen Automatisierungsgrades (80 % sollen die Anwendung ohne manuellen Korrekturbedarf durchlaufen) sollte



2 Einige Beispiele von Großcoils an der BeTa im Kaltwalzwerk Dortmund (195 000 t/Monat) und der nachgeschalteten Contiglühe (63 000 t/Monat) mit Einsatzcoilgewichten bis zu 50 t

A few examples of super coils at the BeTa at cold mill plant Dortmund (195 000 t/month) and the downstream annealing line (63 000 t/month) with weights for input coils up to 50 t



3
Kaltwalzwerk der ThyssenKrupp Steel AG in Bochum
Cold rolling mill of TKS in Bochum

dennoch eine manuelle Arbeit mit der Anwendung nebst ausgereifter Analysefähigkeiten und guter Visualisierung verfügbar sein. Da die Warmband-Kaltband-Kombination unverändert separat vor der Reihenfolgebildung für die Beizen platziert bleiben sollte und die Anlagenversorgung in guten wie in kritischeren Vormaterialsituationen zu gewährleisten ist, war eine besondere spezifizierte Fähigkeit die situative Anwendung des Regelwerkes, vgl. Regeltypen in Bild 5.

Die Marktanalyse vorhandener Systemlösungen zeigte, dass durchaus attraktive Algorithmen geboten wurden, die aber entweder anwenderseitig nicht mehr transparent und nachvollziehbar oder schwer nur mit Programmierkenntnissen konfigurierbar waren. Oder die Belange manueller Arbeiten wurden ignoriert. Die Wahl fiel letztlich auf das Produkt PSImetals ALS der PSI-BT.

PSImetals ALS

In den letzten drei Jahren hat sich PSImetals ALS (Advanced Line Sequencing) zum Branchenstandard für die Aggregateprogrammierung in der Stahlindustrie entwickelt. Das Einsatzspektrum deckt inzwischen den gesamten Fertigungsprozess und die gesamte Fertigungspalette der Branche ab. PSImetals ALS ist im Einsatz bei der Herstellung von Flachstahl,

Grobblech, Trägern, Walzdraht, Profilen und Stabstahl sowie Elektroblech. Abgedeckt wird hiermit neben dem Stranggießen und der Walzstraßenplanung die Aggregateprogrammierung aller denkbaren kontinuierlichen, diskontinuierlichen und batchbetriebenen Produktionsanlagen.

PSImetals ALS ist als ein offener Standard anzusehen: Die Software bietet das Grundgerüst für alle branchenüblichen Prinzipien. Erweiterungen lassen sich harmonisch integrieren und eine einheitliche Systempflege sowie ein einheitliches „Look and feel“ ist gewährleistet.

Prinzipien des PSImetals ALS

Ein Prinzip der Anwendung ist die einfache Möglichkeit der Datenintegration. Im Repository wird hinterlegt, welche Daten in den Anwendungen zur Verfügung stehen und woher diese Daten stammen. Diese Schicht wird zur Laufzeit ausgewertet und kann damit (ohne das Neugenerieren von Skripten oder Ähnlichem) jederzeit angepasst werden. Hier ist auch eine merkmalsbasierte Datenableitung mit Rechenoperationen möglich. Eine Anbindung in die Systemarchitektur der ThyssenKrupp Steel AG war hiermit leicht realisierbar.

Um Entscheidungen bei der Aggregateprogrammierung zu treffen, ist es notwendig, die anfallenden gro-

ßen Datenmengen einfach analysieren und strukturieren zu können. Dazu werden Analysemodule verwendet, die komfortable Bestandsaufteilungen in Balken- und Listensichten unterstützen, Bild 6. Hierbei können die zur Analyse verwendeten oder in den Listen angezeigten Merkmale vom Anwender konfiguriert werden, ebenso Sortierungen und Filter.

Stück- und Auftragsdaten werden in vom Anwender konfigurierbaren Listen dargestellt, die in Sichten angelegt werden. Dabei kann einfach zwischen verschiedenen Sichten gewechselt werden. Regelverletzungen können dann zu farblichen Hervorhebungen in den Sichten führen. Diese so genannten Alerts können

ebenfalls vom Anwender konfiguriert werden, um hier wichtige Daten optisch hervorzuheben, Bild 7. Dieses allgemeine Prinzip der Fokussierung auf relevante Daten wird durch weitere, modulabhängige Grafiken unterstützt. Im Rahmen der Warmband-Kaltband-Kombination z. B. kommt das Modul Schneidvorgaben zum Einsatz, in dem die Lage von Schweißnähten in einer Grafik dargestellt wird, Bild 8.

Für die Pflege konfigurabler Regeln stehen sprechende, einfach bedienbare Dialogschemata zur Verfügung. Regeln sind die Grundlage für Visualisierungen. Zudem werden Regeln in Algorithmen verwendet und unter Beachtung der Regeln Programme automatisiert gebildet. Dabei stützen sich Regeln auf merkmalsbasierten Filtern ab. Sie prüfen ein einzelnes Element (z. B. „ist ein Band gesperrt“) oder Elemente im Reihenfolgekontext (z. B. „führt die Reihung der Bänder zu einem unzulässigen Dicken sprung“).

PSImetals ALS bietet dem Benutzer die Möglichkeit, Algorithmen nach seinen Bedürfnissen zu erstellen. Diese bestehen aus einzelnen Schritten, die nacheinander abgearbeitet werden. Sie bieten neben einer Makro-funktionalität (wie Selektion, Sortieren und Verschieben) auch komplexe mathematische Verfahren für übliche Fragestellungen der Aggregateprogrammierung. Erwähnt seien hier Rüstzeitoptimierung, Kostenminimierung, Packungsoptimierung, Anschlussfindung, Suchverfahren oder Anfahrtskurven, die auf effizienten mathematischen Verfahren beruhen.

Schweiß- und Schneidvorgaben

Im Rahmen der Warmband-Kaltband-Kombination kommt ein Verfahren zur Optimierung von Schneidvorgaben zum Einsatz, das von der PSI-BT im Rahmen dieses Projektes entwickelt und auf den Standard modelliert wurde. Dabei wird unter Beachtung sämtlicher konfigurierter Restriktionen (Regeltypen 1 bis 3, Bild 5) die kostenoptimale (per Regeltyp 4, Bild 5) Kombination von Schneidvorgaben für die zu verplanende Menge von Warmbändern bestimmt. Dieses Verfahren ist grundsätzlich an allen Anlagen einsetzbar, an denen Schneidvorgaben gemacht werden und eine Optimierung aus logistischen Gründen wünschenswert oder aus technischen Gründen notwendig ist.

Grundsätzlich wird bei den Schneidvorgaben eine symmetrische Teilung angestrebt. Das heißt, dass alle Erzeugungscoils der Schweiß-/Schneidvorgabe gleich lang sind. Die Lage der Schweißnähte kann jedoch dazu führen, dass dieses nicht zulässig ist. In diesen Fällen nimmt der Algorithmus unter Berücksichtigung sämtlicher Restriktionen eine asymmetrische Teilung vor: die Auslaufbänder haben dann unterschiedliche Längen.

Berücksichtigt werden hier sämtliche seitens ThyssenKrupp Steel spezifizierten Einflussgrößen. Die benötigte Laufzeit des Algorithmus zur Ermittlung opti-



4 Kaltwalzwerk der ThyssenKrupp Steel AG in Dortmund
Cold rolling mill of TKS in Dortmund

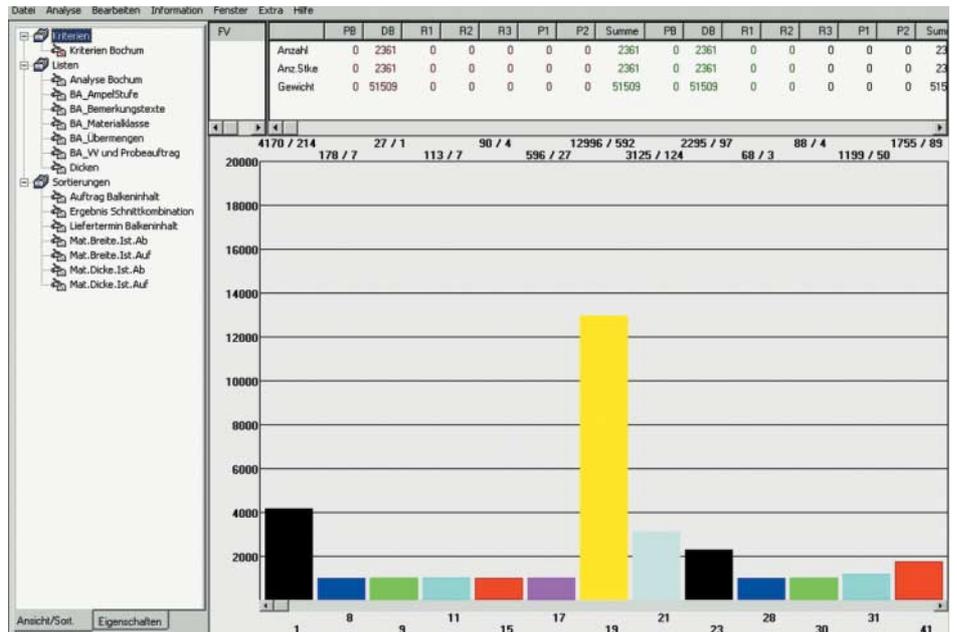
Regelklassen/-typen in der Warmband/Kaltband-Kombination

Regeltyp:	1	2	3
regelt:	Was darf/kann bearbeitet werden?	Was darf zum Großcoil werden?	Wie darf das Großcoil min./max. aussehen?
z.B. per:	- Lager - frei/gesperrt - Datenplausi	- Qualität - Kundenwunsch - Dicken-/Breitenverlauf	- Geometrie - Anzahl/Lage Schweißnähte - theor. Endgewicht
Regeltyp:	4	5	
regelt:	Bewertung möglicher Großcoils	Situative Regelanwendung	
z.B. per:	- Dicken-/Breitenverlauf - Größenoptimierung	- Termine - Mengenzulauf	

5 Eine Klassifizierung der Regeln schaffte Klarheit schon in der ersten Projektphase
A categorisation of constraints brought clarity from the first phase of the project onwards

6

Grafische Analyse und leichter Zugang zu Listen und Sortierungen per Explorer-Leiste
Graphical analysing and easy access to list views and sortings using the explorer tree



7

Konfigurierbare Regel- und Filter-Visualisierung sowie sprechende Informationen
Configurable visualisation of constraints and filters as well as meaningful information

1	2	SN_Kz	Auftrag_Wb	Posi	Auftrag_Kbd	Posi	Breite_KbdSoll [m]	Breite_WbdSoll	Dicke_WbdSoll	Gew_Min_	Gew_Max_	Gew_Bestell_Kl
0	0		8942015	0	L905000000		11 303	1409	2.82	26720	25384	02. Feb 05
0	0		84442	54	129052	2	1500.000	1519.000	2.800	24000	30000	150.00
0	0		8942018	0	L905100000	[1:1]	0	11 302	1529	2.73	29460	27987 03. Feb 05
0	0	5	84442	57	503634	15	1415.000	1434.000	2.790	11491	22700	250.00
0	0	J	8943045	1			0	102	1451	2.74	26430	25109 03. Feb 05
0	0		8943046	0	L934300000	[1:1]	0	11 302	1453	2.75	26620	25289 03. Feb 05
0	0	5	84442	58	503667	22	1445.000	1464.000	2.790	11000	19500	230.00
0	0	J	8939254	0	L812800000		11 302	1479	2.76	27540	26163 01. Feb 05	
0	0		8939253	0	L897000000		11 303	1483	2.78	27870	26477 01. Feb 05	
0	0		8942016	0	L905200000	[1:1]	0	11 302	1480	2.72	27840	26448 03. Feb 05
0	0	5	84442	64	503676	16	1035.000	1054.000	3.140	14000	18500	40.00
0	0		PSIBTAPS					1072	3.11	19520	18544	01. Feb 05
0	0							1229.000	6.000	0	26000	816.00
0	0							1249	5.98	23170	22012	01. Feb 05
0	0							1245	5.98	22290	21176	01. Feb 05
0	0							1242	5.96	23460	22287	01. Feb 05
0	0							1247	5.99	23000	21850	01. Feb 05
0	0							1244	5.97	23360	22192	01. Feb 05
0	0	J	8887028	0	L771200000	[3:2]		3:2	5.97	23190	22031	01. Feb 05

mierter Schneidvorgaben beträgt beispielsweise bei einer betrachteten Menge von etwa 8000 t oder 300 Warmbändern auf einem handelsüblichen PC ca. 5 min.

Die Anforderung der ThyssenKrupp Steel zu einer situativen Algorithmik (per Regeltyp 5, Bild 5) wurde mit einer besonderen Modellierung des erarbeiteten Algorithmus erreicht, der neben dem Bestandsmaterial außerdem zulaufende (teils in der Warmbandstufe noch zu erzeugende) Mengen berücksichtigen kann. Die Fragestellung hierbei

ist: Macht es Sinn, auf zulaufende Mengen zu warten, um mit diesen Bändern zu einem späteren Zeitpunkt ein besseres Ergebnis zu erhalten – natürlich unter Berücksichtigung des Sollfertigstellungstermins?

Ein weiteres Verbesserungspotential konnte mit der Anwendungsweise des PSImetals ALS ausgeschöpft werden: Die von der Beize unverbrauchten Schneidvorgaben des Vortages können am Folgetag reoptimiert werden, tatsächliche Materialzulaufe können im Idealfall ein besseres Ergebnis er-

möglichen, als es zuvor bei der nur theoretischen Berücksichtigung erschien.

Effiziente Projektarbeit

Das Projektteam von ThyssenKrupp Steel hat bewusst den größten Aufwand seiner Arbeit in die sauber abgrenzende und – soweit in einer solchen Phase möglich – detailverständliche Definition der Zielvorstellungen investiert. Mit diesem Schritt war eine leichtere Auswahlauswahl und insbesondere ein deutlich geringerer Zeitbedarf bei der Realisierung mit der PSI-BT erreichbar. Es waren realistische Etappenziele in Form von Prototypfähigkeiten mit realistischen Zeiten vereinbart. Binnen 4 1/2 Monaten nach Projekt-Kick-Off konnte das PSImetals ALS für die Warmband-Kaltband-Kombination in Betrieb genommen werden.

Projektergebnis

Aus dem gemeinschaftlichen Projekt ist eine Systemlösung hervorgegangen, die den spezifizierten Umfang erreicht hat. Die Lösung ist von den Anwendern nicht zuletzt wegen ihrer Transparenz und Zuverlässigkeit gut angenommen worden.

Das zu Beginn des Projektes ausgemachte und angestrebte Verbesserungspotential von 80% wurde überschritten: In Bochum konnte die Anzahl der Großcoils mittlerweile fast verdreifacht werden. Fast jedes sechste Coil ist ein Großcoil (Stand März 2005). Auch die Qualität der Großcoils, gemessen an ihren Gewichten im Verhältnis zu einem normalen Nicht-Großcoil, hat sich um etwa 10% verbessert. Ein Großcoil wiegt im Bochumer Kaltwalzwerk derzeit das 1,4-fache eines Normcoils. Die Anzahl der im Kaltwalzwerk durchgesetzten Coils konnte um 7% gemindert werden, Bild 9.

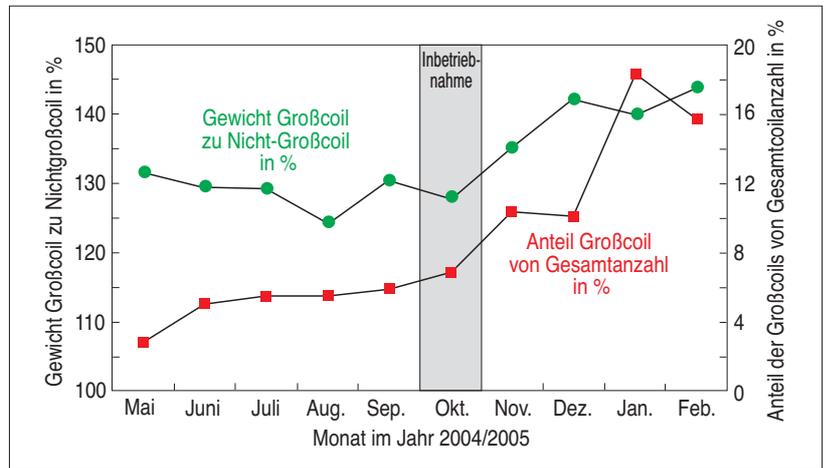
(S 31336)

martin.palubitzki@thyssenkrupp.com

KombiD (AF)					Grafik	Breite_Div_AD	AnzEins
Gewicht_Ist					Grafik	Dicke_Ist	Breite_Ist
SK51745				39.0			0.55
34460						5.96	1229.0
34460						5.96	1229.0
SK51746				39.0			0.58
31067						5.96	1229.0
31067						5.96	1229.0
31067						5.96	1229.0
SK51747				39.0			0.56
33645						5.98	1229.0
33645						5.98	1229.0

8

Die Lage der Schweißnähte wird dem Anwender nachvollziehbar grafisch dargestellt
The positions of weld seams are graphically displayed to the user



9

Die Anzahl erzeugter Großcoils konnte gesteigert, die Qualität der Großcoils, gemessen am Gewicht im Verhältnis zum Nichtgroßcoil, erhöht werden

The number of super coils produced and the quality of super coils – measured by their weight relative to normal coils – could be increased