

Strategien und Methoden für die Qualitätsüberwachung und die Qualitätsregelung bei der Flachstahlproduktion

Strategies and methods for quality monitoring and quality control at flat steel production

Harald Peters, Thomas Heckenthaler und Norbert Holznecht

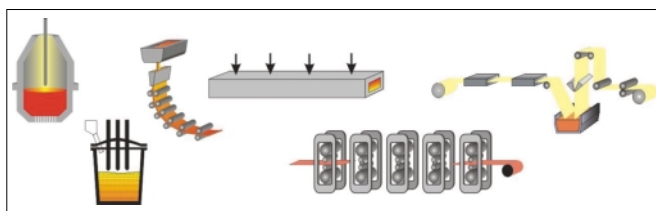
Die in den letzten Jahren enorm gestiegene Leistungsfähigkeit der gesamten informationstechnischen Infrastruktur in den Werken der Flachstahlproduktion erlaubt im Zusammenspiel mit modernen Qualitätsmesssystemen neue Möglichkeiten der prozessstufenübergreifenden Qualitätsüberwachung und Qualitätssteuerung. Die Grundlage hierfür bilden eine leistungsfähige Archivierung sowie eine geeignete Aufbereitung von Prozess- und Qualitätsdaten. Der Bericht gibt einen Überblick über die notwendigen Strategien, Denkansätze und Methoden, die für die Realisierung solcher Systeme erforderlich sind.

The efficiency of the information technology inside the flat steel production companies has increased dramatically during the last years. In combination with powerful measurement devices for different quality aspects, this allows totally new possibilities for through-process quality monitoring and quality control. The basic elements therefore are a powerful archiving and a suitable processing of process and quality data. The report gives an overview of the necessary strategies, thoughts and methods, which are required for the realisation of such systems.

Innerhalb der letzten Jahre sind eine Reihe neuer Mess- und Inspektionssysteme entwickelt worden, mit deren Hilfe neue Möglichkeiten zur vollständigen Qualitätsbeschreibung von Zwischen- und Endprodukten bei der Flachstahlproduktion entstanden sind. Beispiele hierfür sind die Planheitsmessung am Warmband, die Innenfehlerprüfung am Kaltband oder die kontinuierliche Messung von Zugfestigkeit und Streckgrenze [1]. Weiterhin hat die Informationstechnik zunehmend Fortschritte gemacht, sodass heutzutage die Handhabung sehr großer Datenmengen aus datentechnischer Sicht kein Problem mehr darstellt.

Es stellt sich nun die Frage, ob diese beiden Entwicklungen es auch ermöglichen, die Qualitätsüberwachung bzw. die Qualitätssteuerung bei der Herstellung von Flachmaterial zu verbessern und welche Strategien hierfür in Frage kommen.

Im Rahmen dieses Berichts soll versucht werden, diese Fragen zu beantworten. Hierbei wird immer der prozessstufenübergreifende Aspekt bzw. die durchgängige Qualitätssteuerung betrachtet. Das bedeutet, dass bei der Qualitätsüberwachung von Flachmaterial die



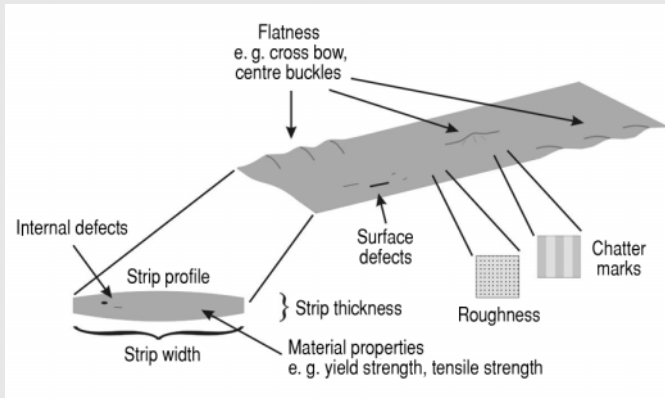
1

Durchgängige Qualitätssicherung
Through-process quality assurance

Herstellungsbedingungen entlang der gesamten, relevanten Produktionskette berücksichtigt werden müssen. Ein prozessstufenübergreifender Ansatz ist also unbedingt erforderlich. Nur so kann sichergestellt werden, dass z. B. die Ursachen von Oberflächenfeh-

Vorgetragen auf der Jahresveranstaltung STAHL 2004 am 18. November 2004 in Düsseldorf.

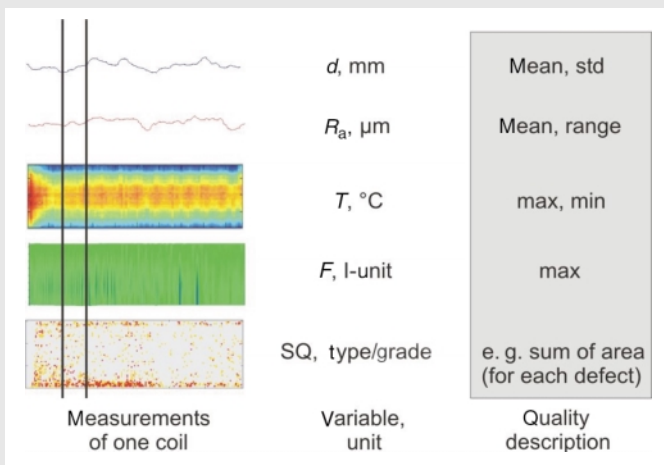
Dr.-Ing. Harald Peters, Abteilungsleiter; Dr.-Ing. Thomas Heckenthaler, Projektleiter; Dipl.-Ing. Norbert Holznecht, Projektleiter, Abt. Qualitäts- und Informationstechniken, Betriebsforschungsinstitut – VDEh-Institut für Angewandte Forschung GmbH (BFI), Düsseldorf.



2

Qualitätsmerkmale von Flachstahl

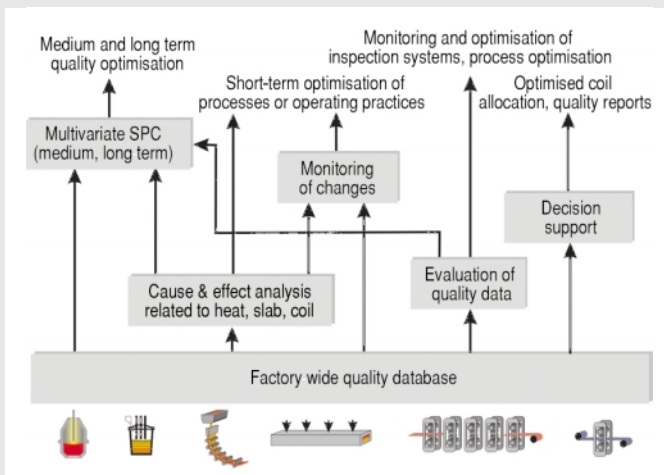
Quality features of flat steel products



3

Vollständige Qualitätsbeschreibung

Complete quality description



4

Komponenten der Offline-Qualitätsüberwachung und -steuerung

Components of the off-line quality monitoring and control

lern auf dem Kaltband, die auf nichtmetallische Einschlüsse zurückzuführen sind, ermittelt werden und notwendige Maßnahmen eingeleitet werden können, Bild 1.

Zunächst soll ein Überblick über die wesentlichen Qualitätsmerkmale von Flachstahl gegeben werden, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird, Bild 2. Neben den geometrischen Kenngrößen wie Dicke, Breite, Dickenprofil, aber auch Planheit sind dies insbesondere die für die Weiterverarbeitung und Nutzung wesentlichen „inneren Werte“ wie Zugfestigkeit, Streckgrenze oder Innenfehler. Hinzu kommen die mit der Oberfläche in Verbindung stehenden Qualitätskenngrößen Rauigkeit und Oberflächenfehler.

Je nach Produkt bzw. Zwischenprodukt kommen weitere Qualitätsmerkmale, wie z. B. Schichtdicken der Zinkauflage etc., hinzu. Einige dieser Größen lassen sich heutzutage vollständig regeln und spielen daher für die Qualitätsüberwachung bzw. Qualitätsregelung nur noch eine untergeordnete Rolle. Andere entziehen sich bislang der vollständigen Steuerung, und ihnen muss daher besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Hierzu zählen z. B. die Innen- und Oberflächenfehler. Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass der Qualitätsbegriff bei Flachstahlprodukten durch einen komplexen und sehr vielfältigen Satz von Einzelparametern beschrieben wird.

Vollständige Qualitätsbeschreibung

Der erste Schritt auf dem Weg zu einer vollständigen Beschreibung der Produktqualität ist die Messung der einzelnen Qualitätsmerkmale. Jedes hat hierbei seine eigene Charakteristik, wie z. B. eindimensional-kontinuierlich (Beispiele hierfür sind Dicke und Rauigkeit), zweidimensional-kontinuierlich (Temperatur und Planheit sind als Beispiele zu nennen) oder auch zweidimensional-diskret (wie Oberflächen- und Innenfehler), Bild 3. Der Rohmesswert wird in der Regel unmittelbar in eine sinnvolle physikalische Einheit gewandelt. Dies stellt bei der Dicke, Temperatur etc. kein Problem dar. Bei Oberflächen- und Innenfehlern ist dieser Schritt schon nicht mehr so offensichtlich, da hier unterschiedliche Fehlertypen mit unterschiedlichen Schweregraden vorliegen können und daher einige weitere Zwischenschritte erforderlich sind. Hierauf wird in einem der folgenden Abschnitte noch genauer eingegangen.

Der nächste Schritt ist dann die Berechnung des eigentlichen, qualitätsbeschreibenden Merkmals. Handelt es sich um eine kontinuierliche, eindimensionale Messgröße, so kann das z. B. der Mittelwert, die Standardabweichung oder das Maximum über das Band sein. Bei den zweidimensionalen Qualitätsmaßen ist die Berechnung dieser Merkmale aufwändiger: im Falle der Oberflächenfehler ist bei bestimmten Fehlern z. B. die Summe der Fehlerfläche zu betrachten, bei an-

deren die Fehlerlänge. Das Qualitätsmaß hängt also vom Fehlertyp ab. Dann ergibt sich hier noch die Frage, wie die unterschiedlichen Fehlertypen zusammenzufassen sind. Aus den Einzelbewertungen der Fehler muss also eine Gesamtbewertung, z. B. ein Segment-Grade, erstellt werden. Außerdem stellt sich noch die Aufgabe, die Grenzen zwischen guter, mittlerer und schlechter Qualität festzulegen. Durch die Zusammenstellung aller dieser Einzelkenngrößen gelangt man zu einer vollständigen Qualitätsbeschreibung.

Im Rahmen der Qualitätssteuerung ist es für bestimmte Einsatzfälle nötig, nur einzelne Bandabschnitte, so genannte Segmente, zu betrachten. Dann muss die Qualitätsbeschreibung sich natürlich auf diese Segmente beziehen, d. h., für jedes Segment ist eine solche, der Aufgabenstellung angepasste Qualitätsbeschreibung erforderlich. In Bild 3 ist das durch die Einzeichnung von Segmentgrenzen innerhalb der Qualitätsmesswerte veranschaulicht.

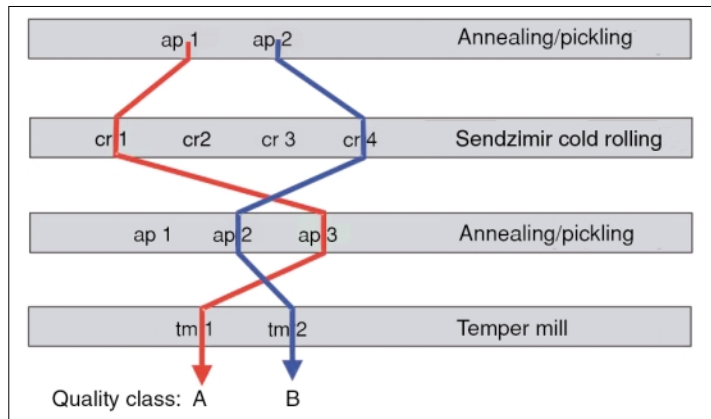
An dieser Stelle wird schon deutlich, dass eine geeignete Qualitätsbeschreibung letztlich vom Einsatzzweck innerhalb der Qualitätssteuerung bzw. -regelung sowie außerdem, und das ist ganz wesentlich, vom Anwendungsgebiet des Stahls abhängt.

Ansätze zur Qualitätssteuerung

Vorausgesetzt, es liegt eine geeignete bandweise oder segmentweise Qualitätsbeschreibung vor, dann stellt sich die Frage, wie diese Beschreibung zur Verbesserung der Qualitätssteuerung eingesetzt werden kann. Grundsätzlich kann man zwischen der vom Herstellungsprozess entkoppelten Nutzung, hier als Offline bezeichnet, und der prozessnahen Nutzung, hier als Online bezeichnet, unterscheiden. Für die Offline-Nutzung ist eine geeignete Speicherung der Qualitätsdaten einerseits und der dazugehörigen Prozessbedingungen andererseits erforderlich. Bei der Online-Nutzung ist entscheidend, dass auch eine Qualitätsbeschreibung der Zwischenprodukte vorliegt und dass es eine geeignete datentechnische Verknüpfung zwischen den Produktionsanlagen entlang der Herstellungskette gibt.

In Bild 4 sind die Strategien der Offline-Nutzung zusammengefasst, die im Folgenden schrittweise vorgestellt werden: Von allen Prozessen bzw. Anlagen der Herstellungskette müssen die relevanten Prozessgrößen sowie die qualitätsbeschreibenden Merkmale erfasst und geeignet abgelegt werden. Diese Ablage kann, wie im unteren Teil des Bildes dargestellt, in einer zentralen Qualitätsdatenbank erfolgen oder in verteilten, dezentralen Systemen. Wichtig ist dabei nur, dass die Daten bei Bedarf möglichst schnell und vollständig zur Verfügung stehen.

Bei dieser Datenablage sind eine Reihe von Dingen zu berücksichtigen: Das Produkt muss entlang der gesamten Prozesskette verfolgt werden, seine Lage



5
Unterschiedliche Prozessrouten
Different process routes

sollte idealerweise eindeutig nachvollziehbar sein, Zerteil- und Schweißvorgänge sind abzubilden, und die mögliche Genauigkeit der Längenverfolgung ist zu ermitteln. In einigen Werken sind solche Systeme bereits in Betrieb, in vielen anderen sind sie derzeit im Aufbau. Sollte eine solche vollständige Produktverfolgung nicht vorliegen, ist eine längenbezogene Auswertung der Daten natürlich nicht möglich. Dennoch lassen sich in vielen Fällen auch mit rein schmelzenbezogenen Auswertungen wesentliche Erkenntnisse gewinnen. Die Datenaufbereitung muss in diesem Fall natürlich entsprechend angepasst werden.

Entscheidungsunterstützungssysteme

Ein erster Anwendungsfall der so gespeicherten Informationen sind so genannte Entscheidungsunterstützungssysteme, Bild 4. Diese helfen z. B. bei der optimierten Zuordnung von Bändern zu Aufträgen oder unterstützen regelmäßige Berichte für die Qualitätsabteilung.

Entscheidungsunterstützungssysteme dienen einem Spezialisten bei der Suche nach optimalen Entscheidungen, insbesondere unter dem Aspekt der begrenzt verfügbaren Zeit bei bestimmten Entscheidungsprozessen [2]. Der Experte analysiert hierbei das vorliegende Entscheidungsproblem. Das „Decision Support System“ hilft dabei dem Experten unter Nutzung eines geeigneten Informationsmodells. Dieses Modell ist abhängig von der zu lösenden Aufgabenstellung und muss im Vorhinein entwickelt werden.

Ein Beispiel eines solchen Offline-Entscheidungsproblems ist z. B. die Frage nach einer optimalen Prozessroute für ein bestimmtes Produkt, wenn für die einzelnen Verarbeitungsstufen mehrere alternative Anlagen zur Auswahl stehen. In Bild 5 ist ein Beispiel aus der Edelstahlproduktion gewählt, wo mehrere Glühbeizlinien, mehrere Kaltwalzgerüste und mehrere Dressiergerüste zur Auswahl stehen. Bei

diesem Gedankenansatz steht die Erfahrung im Hintergrund, dass unterschiedliche Prozessrouten je nach Endprodukt zu unterschiedlichen Qualitätsergebnissen führen können. Das Ziel muss es also sein, für das gewünschte Endprodukt den Prozessweg zu finden, der die besten Qualitätsergebnisse verspricht. Hierbei stellen die Belegung und Auslastung der verschiedenen Anlagen die wesentlichen zu berücksichtigenden Randbedingungen dar. Ein solches System wird derzeit zusammen mit der ThyssenKrupp Nirosta GmbH für den Bereich der Edelstahlproduktion entwickelt [3].

Ein anderes Beispiel für ein Entscheidungsunterstützungssystem ist die Zuordnung von vorliegenden Aufträgen zu Bändern durch das hierfür zuständige Personal, so genannte Zuteiler, Bild 6. Sollen z. B. Tafelaufträge auf produzierte Bänder verteilt werden und soll hierbei einerseits die Verteilung von Oberflächenfehlern auf dem Band berücksichtigt und andererseits der verbleibende Verschnitt minimiert werden, so braucht der Zuteiler hierfür technische Unterstützung. Diese kann z. B. in einem Vorschlag für eine optimale Verteilung der Aufträge auf die Bänder bestehen, die der Zuteiler entweder akzeptieren oder aufgrund seines Erfahrungswissens noch verändern kann. Die an den Zerteilanlagen erforderlichen Anlagendurchläufe stellen hierbei ein weiteres Optimierungskriterium dar. Ein solches System wurde vom BFI gemeinsam mit einem Stahlproduzenten innerhalb eines vom BMBF geförderten Projektes entwickelt und wird derzeit im industriellen Probebetrieb getestet [4].



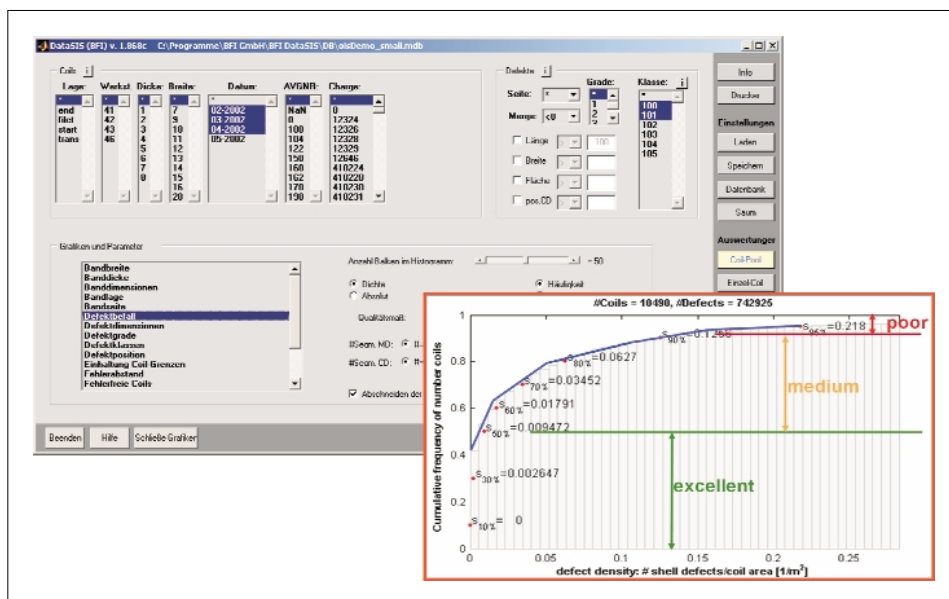
6
Erstellung qualitätsabhängiger Schneidpläne
Construction of quality dependent cutting plans

Auswertung von Qualitätsdaten

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit der gespeicherten Daten sind Systeme, mit denen ganz speziell die Qualitätsinformationen, zunächst ohne Berücksichtigung der Prozessdaten, umfangreich ausgewertet werden können. Ergebnisse solcher Auswertungen können die Überwachung der Qualitätsmesssysteme selber, aber auch die Optimierung der Produktionsanlagen sein, Bild 4.

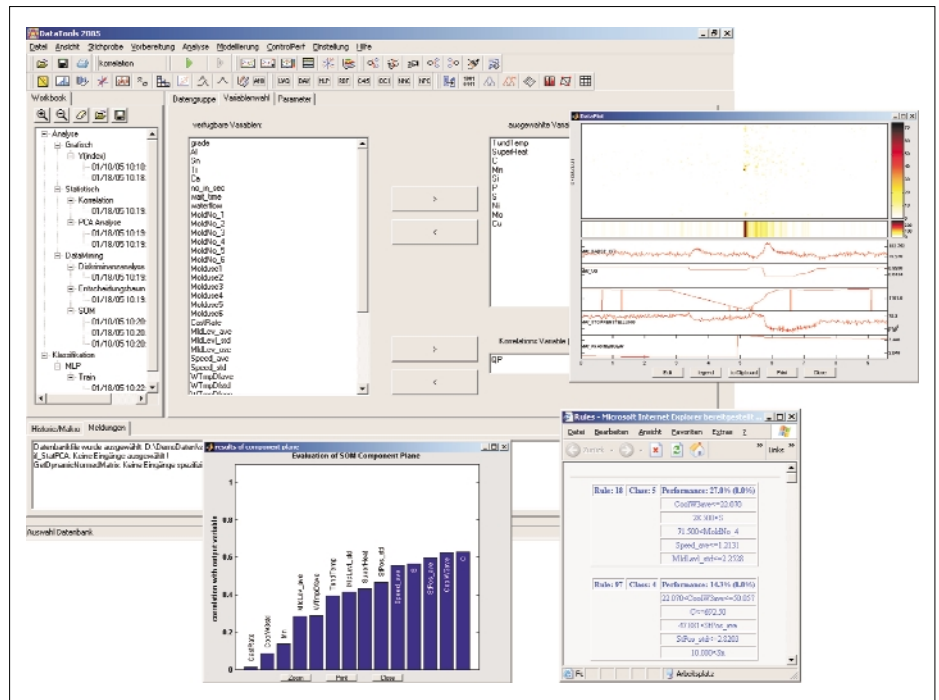
Ein solches Auswertungssystem, Bild 7, wurde vor ca. drei Jahren ganz speziell für die Daten von Oberflächeninspektionssystemen entwickelt und ist in der

Zwischenzeit in mehreren deutschen Werken im industriellen Einsatz. Zunächst kann hiermit ein bestimmter Ausschnitt der Produktion ausgewählt werden, z. B. alle Bänder der letzten drei Monate, die aus Filetbrammen entstanden sind, einer bestimmten Materialsorte angehören und innerhalb eines Dickenpektrums von z. B. 1 - 1,5 mm liegen sowie für den Kunden A bestimmt sind. Mit den Daten der dann selektierten Bänder und einer Vielzahl unterschiedlicher Auswertungen können z. B. die folgenden Fragen beantwortet werden: Was ist eigentlich „gute“ Qualität und wie unterscheidet sie sich von „schlechter“? Sind die Ergebnisse der Oberflächeninspektionssysteme überhaupt plausibel? Welche Produkte sind am häufigsten mit bestimmten Fehlern befallen? Ändert sich der Befall mit dem Oberflächenfehler A über die Zeit?



7
Softwarewerkzeug für die Auswertung von Oberflächeninspektionsergebnissen
Software tool for the evaluation of surface inspection results

Es sind hierbei Auswertungen und Darstellungen einzelner Bänder, aber auch statistische Untersuchungen über viele tausend Bänder möglich. Zum Beispiel lassen sich auch die Ergebnisse von unterschiedlichen Inspektionssystemen entlang der Produktionskette miteinander vergleichen. Weiterhin bietet das System die Möglichkeit, die oben schon erwähnten Aggregierungsmethoden sehr flexibel auf die zu untersuchende Fragestellung anzupassen: d. h., welche Kenngrößen werden zu den verschiedenen Fehlertypen als Qualitätsmerkmale berechnet, und wo liegen für dieses Qualitätsmerkmal die Grenzen zwischen Gut und Schlecht. Aufgrund der Ähnlichkeit der Daten ist diese Art der Auswertung auch für Innenfehlerprüfdaten geeignet, denn auch in diesem Fall liegen zweidimensionale, diskrete Fehlerverteilungen vor.



Erkennung von Prozess- und Qualitätsänderungen

Die abgelegten Daten, hier insbesondere die Prozessdaten, können auch genutzt werden, um Änderungen an einzelnen Prozessen oder auch innerhalb der gesamten Produktionskette zu erkennen, Bild 4. Wenn z. B. Montags morgens die Information bekannt wird, dass seit dem Wochenende ein erhöhter Befall von Zunder auf dem Warmband aufgetreten ist, kann durch eine geeignete Analyse der Daten festgestellt werden, ob am Wochenende signifikante Veränderungen an den Anlagen oder der Prozessfahrweise vorgenommen worden waren. Solche Informationen können dann für eine Optimierung von Prozesseinstellungen oder für die Einleitung von Instandhaltungsmaßnahmen genutzt werden. Auch ist es so möglich, bestimmte Gründe für die Entstehung des Fehlers auszuschließen.

Als Lösungsweg kommen hierbei z. B. einfache, univariate Methoden der statistischen Prozessregelung (SPC) zum Einsatz. Weiterhin werden für die Ermittlung von Änderungen Verfahren der Abweichungsanalyse und des fallbasierten Schließens verwendet. Auf diese Weise können bestimmte Ereignisse und Veränderungen im Prozessgeschehen detektiert werden. Auch lässt sich mit diesen und ähnlichen Verfahren feststellen, ob denn die in die Datenbank einfließenden Daten fehlerfrei und plausibel sind.

Der soeben vorgestellte Ansatz ist natürlich nicht grundsätzlich neu. Ähnliche Methoden werden schon seit vielen Jahren auch im Bereich der Flachstahlproduktion eingesetzt. Durch die hier vorge-

stellte kombinierte Nutzung von Prozess- und Qualitätsdaten sowie durch die zentrale coil- oder segmentbezogene Datenablage eröffnen sich aber flexiblere und vor allem leistungsfähigere Anwendungen, als dies bisher möglich war [5].

Prozessstufenübergreifende Ursachenanalyse von Qualitätsfehlern

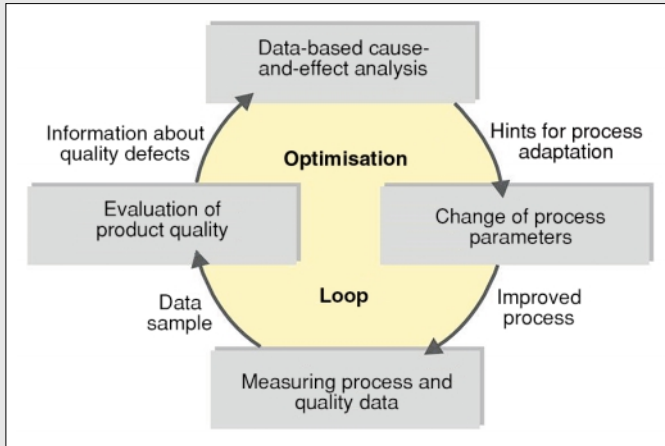
Die nächste Offline-Nutzungsmöglichkeit der Daten, jetzt sowohl der Prozess- als auch der Qualitätsdaten, ist die prozessstufenübergreifende Ursachenanalyse von Qualitätsfehlern, Bild 4. Durch die bereits oben erwähnte Verfolgung von Bändern durch die gesamte Produktionskette und eine längenrichtige Zuordnung aller Herstellungsbedingungen zu den Qualitätsergebnissen wird eine Datentabelle erzeugt, mit deren Hilfe die Abhängigkeiten zwischen Qualitätsfehlern und Prozessablauf hergestellt werden kann. Für diese Ursachenanalyse werden unterschiedliche graphische und statistische Methoden eingesetzt.

Die Ergebnisse dienen dann der Prozessoptimierung auf einer relativ kurzfristigen Zeitschiene und können außerdem zur Verbesserung der vorhin beschriebenen Änderungsüberwachung genutzt werden.

Für diese Aufgabe wurde vom BFI bereits vor mehreren Jahren ein leistungsfähiges Softwaresystem (DataTools) entwickelt, das speziell auf die besonderen Bedingungen der Stahlproduktion zugeschnitten ist, Bild 8. Hiermit können alle notwendigen Schritte wie längenrichtige Produktverfolgung, Datenvor-

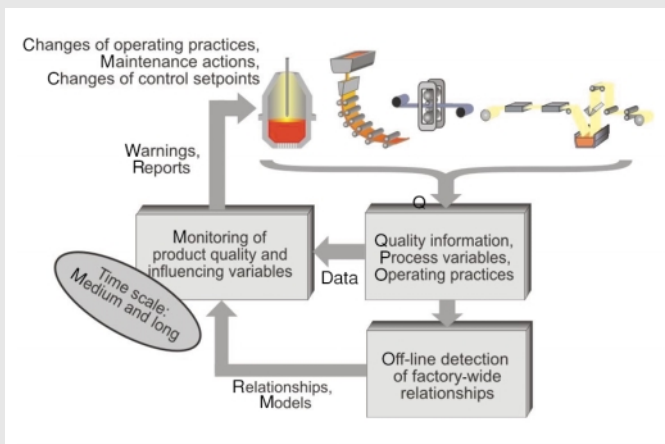
8 Softwarewerkzeug für die prozessstufenübergreifende Ursachenanalyse von Qualitätsfehlern

Software tool for the through-process cause-and-effect analysis of quality defects



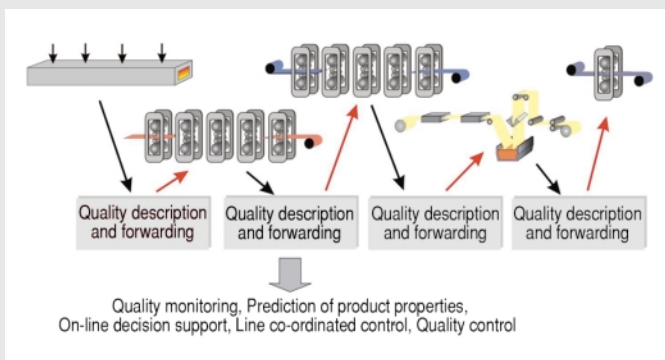
9

Optimierungsschleife
Optimisation loop



10

System zur werksweiten Überwachung der Produktqualität und deren Einflussgrößen
System for the factory wide monitoring of product quality and their influencing variables



11

Prozessnahe Methoden der Qualitätsregelung
On-line methods for quality control

verarbeitung, graphische und statistische Analyse der Daten sowie die Erstellung von datenbasierten Prozess- bzw. Qualitätsmodellen durchgeführt werden. In Bild 8 sind neben dem Benutzerinterface einige Ergebnisse dargestellt: die grafische Gegenüberstellung der Prozessbedingungen beim Stranggießen mit den Oberflächenfehlern des aus der Bramme erzeugten Kaltbandes; zwei verbale, aus den Daten gewonnene Regeln, die die Bedingungen, die zu bestimmten Produktqualitäten führen, beschreiben. Schließlich wird in dem dargestellten Histogramm das Ergebnis einer Methode gezeigt, mit der die Prozessvariablen in eine Prioritätenkette bezüglich ihres Einflusses auf ein Qualitätsmerkmal eingeordnet werden können [6].

Die Grundidee bei dieser datenbasierten Ursachenanalyse von Qualitätsfehlern ist hierbei immer der Vergleich von guter Qualität und der dazugehörigen Herstellungsbedingungen über die relevante Prozesskette mit schlechter Qualität sowie der dazu passenden Prozesssituationen. Durch eine statistische Betrachtung über viele Bänder lässt sich so sehr erfolgreich auf Ursachen von Fehlern schließen.

Auf diese Weise können auch Prognosemodelle für die Wahrscheinlichkeit ausgewählter Qualitätsfehler bzw. für bestimmte Produkt- oder Materialeigenschaften aufgestellt werden. Diese datenbasierte Modellbildung macht natürlich nur dann Sinn, wenn eine analytische Modellbildung unmöglich oder zu ungenau ist.

Um mit dem beschriebenen Hilfsmittel eine signifikante Verbesserung der Produktqualität zu erzielen, muss es zu einem integralen Bestandteil der täglichen Arbeit werden. Diesem Gedanken liegt die in Bild 9 dargestellte Optimierungsschleife zu Grunde: Mit Hilfe der Messung der Prozess- und Qualitätsdaten wird eine geeignete Datenstichprobe generiert. Zunächst werden aus dieser Stichprobe nur die Qualitätsinformationen ausgewertet, z. B. in dem Sinne des oben dargestellten Werkzeuges für die Analyse der Oberflächeninspektionsdaten. Hiermit werden Erkenntnisse über Qualitätsdefizite erarbeitet und eine genaue Definition abgeleitet, was als gute und was als schlechte Qualität angesehen wird. Dann erst schließt sich die datenbasierte Ursachenanalyse an, die bei erfolgreicher Durchführung Hinweise über die Anpassung bestimmter Prozessparameter generiert. Deren Umsetzung führt zu einem verbesserten Prozess bzw. zu einer verbesserten Prozesskette, deren Daten dann wieder erfasst werden. Die Schleife beginnt von vorn.

Auf diese Weise wird eine kontinuierliche Optimierung der Prozesskette erreicht. Dass diese Vorgehensweise erfolgreich ist, konnte im industriellen Umfeld bereits mehrfach bewiesen werden. Es sei an dieser Stelle z. B. auf [7] verweisen, wo ein eindrucksvolles Beispiel hierfür beschrieben wurde.

Es sollte hier aber auch deutlich darauf hingewiesen werden, dass die Durchführung dieser Optimierungsschleife mit Arbeitszeit und Kosten verbunden ist und dass der Erfolg nicht in jedem Fall garantiert ist. Dennoch hat sich in vielen Beispielen in den letzten Jahren nachweisen lassen, dass diese Vorgehensweise auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist und zu signifikanten Kosteneinsparungen führt.

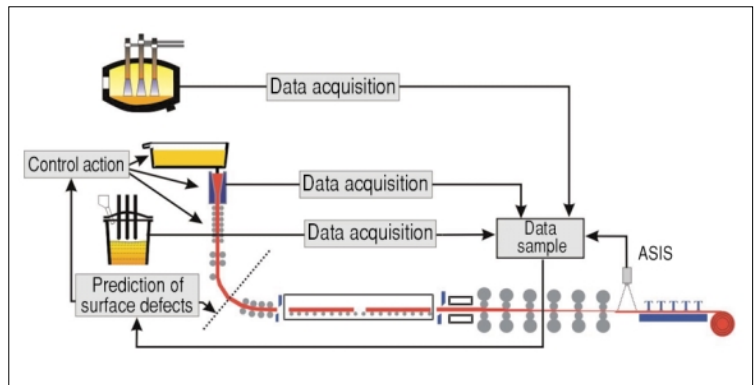
Multivariate statistische Prozesskontrolle

Die Ergebnisse der datenbasierten Ursachenanalyse können nun wieder als Eingang für einen weiteren Block der Offline-Analyse genutzt werden, Bild 4, nämlich die multivariate statistische Prozesskontrolle. Hiermit sollen mittel- und langfristige Tendenzen in den Prozess- und Qualitätsdaten entdeckt bzw. überwacht werden. Multivariat bedeutet in diesem Zusammenhang die Überwachung von Mehrgrößenabhängigkeiten, z. B. dann, wenn bei der Ursachenanalyse für einen bestimmten Qualitätsfehler ein Modell für dessen Prognose entwickelt werden konnte. Dann ist es natürlich sinnvoll, die dort verwendeten Eingangsgrößen auf die Einhaltung bestimmter Wertekombinationen hin zu überwachen, um den Fehler erst gar nicht entstehen zu lassen.

Ein solches System ist derzeit ebenfalls Gegenstand eines Entwicklungsprojektes gemeinsam mit der EKO Stahl GmbH und dem Forschungs- und Qualitätszentrum Brandenburg [5]. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist in Bild 10 dargestellt. Basierend auf den gespeicherten Prozess- und Qualitätsdaten werden mit dem bereits erwähnten Werkzeug die Zusammenhänge zwischen interessierenden Qualitätsinformationen und Prozessvariablen untersucht. Anschließend können sowohl die jetzt vorliegenden Zusammenhänge bzw. Modelle als auch die Rohdaten mit Methoden der multivariaten SPC überwacht werden. Die Ergebnisse werden in Form von Warnungen oder Berichten ausgegeben, können aber auch unmittelbar für die Anpassung von Prozessparametern oder die Einleitung von Instandhaltungsmaßnahmen genutzt werden.

Prozessnahe Methoden der Qualitätssteuerung

Nach der Beschreibung der Offline-Nutzungsmöglichkeiten soll noch kurz auf die prozessnähere Online-Nutzung eingegangen werden. Die Grundidee der Online-Nutzung, Bild 11, wird durch die geeignete Beschreibung der Qualität aller Zwischenprodukte und deren Weiterleitung an die Folgeanlage beschrieben. Auf dieser Basis können dann unterschiedliche Anwendungen umgesetzt werden:



12
Qualitätsregelung einer CSP-Anlage
Quality control of a CSP plant

- Eine fortlaufende Qualitätsüberwachung: Wie entwickeln sich bestimmte Qualitätsmerkmale über die Zeit, und sind hierin Tendenzen zu erkennen?
- Die Vorhersage von Produkteigenschaften: z. B. die Vorhersage von Zugfestigkeit und Streckgrenze nach dem Verzinken.
- Verschiedene Online-Varianten der Entscheidungsunterstützung: Kann das produzierte Band die vorgegebenen Qualitätskriterien noch einhalten, oder ist es eventuell wirtschaftlicher, dieses Band aus der Produktion herauszunehmen?
- Die Berücksichtigung der Vormaterialqualität bei der Steuerung und Regelung der Nachfolgeanlage: Nutzung des Warmbanddickenprofils für die optimale Einstellung des Walzspaltes an der Kaltwalz-Tandemstraße oder die Nutzung von Informationen beispielsweise über gravierende Oberflächenfehler, wie z. B. Löcher, die zu einer Beschädigung der Nachfolgeanlage führen würden.
- Eine echte, über mehrere Prozessstufen hinwegreichende Regelung einzelner Qualitätsparameter. Dabei wird die Regelschleife über mehrere Prozessstufen hinweg geschlossen. Ein Beispiel hierfür wird im nächsten Abschnitt erläutert.

Innerhalb eines noch laufenden Projektes [8] untersucht das BFI gemeinsam mit der SMS Demag AG und Aceria Compacta de Bizkaia (ACB) in Spanien die Möglichkeit der Online-Qualitätsregelung einer CSP-Anlage, Bild 12. Da die Verfolgung des Produktes hier aus einsichtigen Gründen relativ einfach ist, eignet sich der CSP-Prozess sehr gut sowohl für den Aufbau einer segmentbasierten Qualitätsdatenbank als auch für eine Online-Qualitätsregelung. Als prototypisches Beispiel eines Qualitätsmerkmals wurde die Oberflächenqualität hinter der Warmbreitbandstraße gewählt. Dort wird mit einem automatischen Oberflächeninspektionssystem die Ist-Qualität erfasst. An den unterschiedlichen Prozessstufen wer-

den außerdem alle relevanten Prozessparameter gemessen, längenrichtig dem Produkt zugeordnet und geeignet archiviert. Die Basis für die Auslösung von Prozesseingriffen stellt dann die Prognose der Oberflächenqualität an der markierten Stelle dar. Für diese Prognose wird ein datengetriebenes Modell eingesetzt, das mithilfe der gespeicherten Daten entwickelt wurde und das sowohl für den Fehlerfall als auch für den fehlerfreien Fall eine Prognosesicherheit von 85 % auf unbekanntem Eingangsdaten erzielt. Basierend auf der Analyse dieses Modells wird dann in einem ersten Schritt ein Vorschlag für die Änderung von Prozessparametern an die Bedienmannschaft ausgegeben. Ob hier in der Zukunft vielleicht ein Online-Closed-Loop-Eingriff möglich sein wird, kann zum augenblicklichen Entwicklungszeitpunkt noch nicht gesagt werden.

Ein ähnlicher Ansatz wird derzeit mit der Salzgitter Flachstahl GmbH und dem Salzgitter Mannesmann Forschungszentrum für den Bereich der Feuerverzinkungsanlage untersucht [9].

Nachdem bisher einige Offline- und einige Online-Nutzungsmöglichkeiten vorgestellt worden sind, stellt sich natürlich die Frage nach der Kombination beider Ansätze. Ein solches umfangreiches System wird in Kooperation mit der Rasselstein GmbH für einen bestimmten Abschnitt der Produktion entwickelt. Hierbei werden verschiedene Online-Entscheidungsunterstützungssysteme, Offline-Diagnosearbeitsplätze für Qualitätsuntersuchungen und unterschiedliche SPC-Ansätze in einer einheitlichen Gesamtlösung zusammengefasst [10].

Fazit

Die am Anfang dieses Berichtes aufgeworfene Frage, ob die Kombination aus neuen Messsystemen und leis-

tungsfähigerer Informationstechnik eine Verbesserung der Qualitätsüberwachung und Qualitätsregelung ermöglicht, ist eindeutig mit Ja zu beantworten. Hierbei sind folgende Teilaspekte von Bedeutung:

- Basierend auf leistungsfähigen Mess- und Inspektionssystemen ist eine geeignete und vollständige numerische Beschreibung der Produktqualität von ganzen Bändern bzw. von Bandlängensegmenten die Voraussetzung für weitergehende Methoden und Strategien der Qualitätsüberwachung und Qualitätsregelung.
- Diese Beschreibung kann insbesondere im Zusammenhang mit den Prozessdaten durch unterschiedliche Methoden zur Verbesserung der Produktqualität genutzt werden. Hierbei ist zwischen einer prozessfernen und einer prozessnahen Nutzung zu unterscheiden.
- In beiden Gebieten sind unterschiedliche Strategien verfügbar, die innerhalb dieses Berichts kurz beschrieben wurden.

Welche der vorgestellten Ansätze in den einzelnen Werken sinnvoll sind, hängt von einer Vielzahl von Randbedingungen ab und kann nicht pauschal beantwortet werden. Die Erfahrung in den letzten Jahren hat aber gezeigt, dass sich die Beschäftigung mit diesem Thema insbesondere aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten lohnt.

Mit entsprechenden Modifikationen lassen sich die beschriebenen Ansätze auch bei der Herstellung von Langprodukten sehr erfolgreich einsetzen.

Die Forschungsarbeiten, die zu den oben dargestellten Erkenntnissen führten, wurden teilweise mit Mitteln des „Research Fund for Coal and Steel“ sowie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

(S 31253)

harald.peters@bfi.de

Literatur

- [1] Stelzer, R.; Degner, M.; Dürr, W.; Hüttebräucker, K.; Kröcher, T.; Müller, A.; Müller, U.; Oberhoffer, H.; Preißler, T.; Stolzenberg, M.; Wild, M.: stahl u. eisen 124 (2004) Nr. 3, S. 35/44.
- [2] Marett, B.; Henderson, I.: Generalised decision support system for diagnosis, Proc. 37th MWSP Conf., ISS, Vol. XXXIII, 1996.
- [3] EGKS-Projekt "Improvement of quality management in cold rolling and finishing area by combination of FMEA with data-based approaches".
- [4] BMBF-Projekt 01RW0171: „Produktionsintegrierter Umweltschutz durch Optimierung der Materialausnutzung bei der Edeltahlerzeugung“.
- [5] RFCS-Projekt "Factory-wide and quality related production monitoring by data-warehouse exploitation".
- [6] Peters, H.; Link, N.; Heckenthaler, T.: stahl u. eisen 120 (2000) Nr. 8, S. 71/77.
- [7] Beindorf, J.; Anstots, T.; Eberle, A.; Ernenputsch, L.; Holzhauser, J.-F.: stahl u. eisen 124 (2004) Nr. 10, S. 53/60.
- [8] EGKS-Projekt "Application of data-based technologies to demonstrate on-line quality control of mini mills".
- [9] RFCS-Projekt "Investigation, modelling and control of the influence of the process route on steel strip technological parameters and coating appearance after hot dip galvanising".
- [10] RFCS-Projekt "Decision support system for the comprehensive assessment of flat products quality".