

TATA Hot Strip Mill 2

Afstudeeropdracht Besturing Level 1

**Kostenreductie bij TATA:
van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties**

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Opdrachtgever : Joop Rijnsburger

Revisie : 1.0
Revisiedatum : 16-03-2015

Auteur : J. Lubbers
TATA Steel ID : 080531
Opleiding : Elektrotechniek
Studentnummer : 08054770
Stagebegeleider : J. Woudstra

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



Voorwoord

Dit eindrapport is ter afsluiting van mijn afstudeerstage van de opleiding Elektrotechniek. Van 17 november 2014 tot 19 maart 2015 heb ik met veel plezier aan mijn stageopdracht gewerkt. Ik vond het een leuke en uitdagende opdracht en heb het erg naar mijn zin gehad bij de Warmband 2.

Ik wil graag mijn collega's van de Warmband 2 bedanken voor hun hulp en tijd. In het bijzonder wil ik Joop Rijnsburger bedanken voor het mogelijk maken van deze stageopdracht.

Dit verslag is geschikt voor lezers met enige kennis van besturingstechniek en PLC's.

Joey Lubbers

16 maart 2015

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



Samenvatting

Met de projectopdracht wordt van een kwalitatieve temperatuurmeting (ET-1) de meetkring zodanig aangepast dat er zonder tussenkomst van een engineer periodiek en automatisch een kalibratie van de gehele meetkring uitgevoerd wordt. Naast de uitkomst "Pass/Fail" moet er ook onderzocht worden of dat er automatisch een kalibratie certificaat gegenereerd en geborgd opgeslagen kan worden.

Er is onderzoek gedaan welke analoge input- en outputkaarten aan de vereiste nauwkeurigheid voldoen. Deze zijn aan de hand van rekenbladen doorgerekend en vergeleken met de huidige kalibratiemethode.

De beste kaarten zijn uitgezocht en hier is een kosten/baten analyse voor gemaakt. De terugbetaaltijd is korter dan 2 jaar. Dit heeft als gevolg dat het een interessant onderwerp voor Warmband 2 is.

Het automatiseren van de kalibratiemetingen wordt gedaan met een TDC als master en een ET200M als slave. De uit het vooronderzoek gekozen kaarten zijn met de ET200M slave verbonden. Aan de hand van de huidige kalibratiemethode is er met het softwarepakket SIMATIC een flowchart ontworpen. Deze flowchart is gemaakt met SFC. De logica die bij de flowchart hoort is gemaakt met CFC.

Voor het automatisch laten creëren van een kalibratie certificaat is gebruik gemaakt van IBA Analyzer. Met dit softwarepakket kunnen de signalen die met de TDC gebruikt worden grafisch weergegeven worden. Met dit softwarepakket is het ook mogelijk om een rapport te genereren. Het rapport dat gegenereerd is bevat alle vereiste metingen.

Aan de hand van testresultaten is bewezen dat het mogelijk is om zonder tussenkomst van een engineer periodiek en automatisch een kalibratie van de gehele meetkring uit te voeren en hier een certificaat van te genereren.

Versiebeheer

Versie	Status	Datum	Wijziging
0.1	Initieel	09-12-2014	Opzet document + lay-out
0.2	Concept	09-12-2014	Hoofdstuk Inleiding
0.3	Concept	11-12-2014	Hoofdstuk Onderzoek
0.4	Concept	19-12-2014	Aanvulling hoofdstuk Onderzoek
0.5	Concept	12-01-2015	Hoofdstuk Onderzoek afgerond
0.6	Concept	10-02-2015	Hoofdstuk Realisatie gestart
0.7	Concept	03-03-2015	Hoofdstuk Realisatie afgerond
0.8	Concept	10-03-2015	Document afgerond, feedback verwerkt
1.0	Vrijgave	16-03-2015	Feedback verwerkt, scriptie afgerond

Inhoudsopgave

1. Inleiding	11
1.1 TATA Steel Europe	11
1.1.1 Warmbandwalserij 2	12
1.2 Projectopdracht	13
1.2.1 Probleemstelling	13
1.2.2 Opdrachtschrijving	13
1.3 Betrokken personen	14
1.4 Projectactiviteiten	15
2. Onderzoek	17
2.1 Hardware	17
2.1.1 LAND SYSTEM4 Pyrometers	17
2.1.2 LANDMARK GRAPHIC	18
2.1.3 Unomat TRX II	18
2.2 Kalibreren	19
2.2.1 Het belang van kalibreren	19
2.2.1 Huidige kalibratiemethode	19
2.2.2 Eisen kalibratie temperatuurmeetkringen WB2	20
2.3 Automatiseren	21
2.3.1 Siemens PLC	21
2.3.2 TDC	21
2.3.3 ET200M	22
2.3.4 Analog Output	22
2.3.5 Analog Input	25
2.4 Wisselrelais	28
2.5 Beslissing	29
2.6 Kosten	30
3. Ontwerp	31
3.1 De meetopstelling	31
3.2 Hardware configuratie	32
3.3 Softwarepakket SIMATIC	34
3.3.1 Verbinding ET200M	34
3.3.2 IO definiëren	35
3.3.3 Flowchart	36
3.3.4 Logica	38
3.3.5 Input/Output uitlezen	41
3.4 IBA	42
3.4.1 IBA Analyzer	42
3.4.2 Report generator	44
4. Testen	47
4.1 Outputkaart (1 ^e testfase)	48
4.1.1 Gebruikte materialen	48
4.1.2 Instellingen	48
4.1.3 Opstelling	48
4.1.4 Metingen	49
4.1.5 Resultaten	50
4.2 Inputkaart (1 ^e testfase)	50
4.2.1 Gebruikte materialen	50
4.2.2 Instellingen	50
4.2.3 Opstelling	50
4.2.4 Metingen	51
4.2.5 Resultaten	52
4.3 IO opstelling (1 ^e testfase)	52
4.3.1 Gebruikte materialen	52
4.3.2 Instellingen	52
4.3.3 Opstelling	52
4.3.4 Metingen	53

4.3.5 Resultaten	54
4.4 S7 Test.....	54
4.5 Inputkaart (2e testfase)	55
4.5.1 Gebruikte materialen	55
4.5.2 Instellingen	55
4.5.3 Opstelling.....	55
4.5.4 Metingen.....	56
4.5.5 Resultaten	57
4.6 IO opstelling (2 ^e testfase).....	57
4.6.1 Gebruikte materialen	57
4.6.2 Instellingen	57
4.6.3 Opstelling.....	57
4.6.4 Metingen.....	58
4.6.5 Resultaten	59
4.7 Complete meetopstelling	59
4.6.1 Gebruikte materialen	59
4.6.2 Instellingen	59
4.6.3 Opstelling.....	59
4.6.4 Metingen.....	60
5. Conclusie.....	61
6. Aanbevelingen	63
7. Bronlijst	65
8. Verklarende woordenlijst.....	67
Bijlage I	69
Bijlage II	75
Bijlage III	77

Figurenlijst

Figuur 1: Schematisch overzicht WB2	12
Figuur 2: Schematisch overzicht temperatuursensoren	13
Figuur 4: Polynoom pyrometers	17
Figuur 7: Schematisch overzicht temperatuurmeting	20
Figuur 8: 5-lagen model	21
Figuur 9: Siemens TDC	21
Figuur 10: ET200M	22
Figuur 11: Schematische weergave meting met diode	26
Figuur 12: Wisselrelais	28
Figuur 13: Schematisch overzicht meetopstelling	31
Figuur 14: Overzicht hardwareconfiguratie	32
Figuur 15: ET200M configuratie	32
Figuur 16: ET200M moduleconfiguratie	33
Figuur 17: Profibus Communicatie	34
Figuur 18: Byteswapping	34
Figuur 19: NOP-blokken	35
Figuur 20: Flowchart Kalibratiemeting	36
Figuur 21: Overzicht logica	38
Figuur 22: Start en Meet	38
Figuur 23: Wacht1 en Wacht2	39
Figuur 24: Counter	39
Figuur 25: Output	40
Figuur 26: SFC_Init	40
Figuur 27: Analog Input Driver	41
Figuur 28: IBA Signaaloverzicht	42
Figuur 29: IBA Gefilterd signaal	43
Figuur 30: Header definities	44
Figuur 31: Kalibratietabel ET-1 Top	45
Figuur 32: Opstelling outputkaart	48
Figuur 33: Afwijking outputkaart	49
Figuur 34: Opstelling inputkaart	50
Figuur 35: Afwijking inputkaart	51
Figuur 36: Complete opstelling	52
Figuur 37: Afwijking complete opstelling	53
Figuur 38: Opstelling inputkaart	55
Figuur 39: Afwijking Inputkaart	56
Figuur 40: Opstelling inputkaart	57
Figuur 41: Afwijking inputkaart	58
Figuur 42: Complete meetopstelling	59
Figuur 43: Resultaten complete meetopstelling	60

Tabellenlijst

Tabel 1: Analog Output	22
Tabel 2: Bepaling LSB	23
Tabel 3: Errors	23
Tabel 4: Analog Input Spanning	25
Tabel 5: Kalibratie ET-1 na plaatsing diodes	27
Tabel 6: Analog Input Stroom	28
Tabel 7: Beslissingstabel Output Kaarten	29
Tabel 8: Beslissingstabel Input Kaarten (Stroom)	29
Tabel 9: Huidige kosten kalibratiemetingen	30
Tabel 10: Kosten toepassen in/output kaarten	30
Tabel 11: Toelichting meetopstelling	31
Tabel 12: Werking flowchart	37
Tabel 13: Statements kalibratietabel	44
Tabel 14: Meetresultaten outputkaart	49
Tabel 15: Meetresultaten inputkaart	51
Tabel 16: Meetresultaten complete opstelling	53
Tabel 17: Resultaten S7 test	54
Tabel 18: Meetresultaten inputkaart	56
Tabel 19: Indeling LMG's	63

1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden het bedrijf en de projectopdracht besproken. Ook is hier een lijst van betrokken personen en projectactiviteiten te vinden.

1.1 TATA Steel Europe

In 1918 wordt het staalbedrijf Koninklijke Nederlandse Hoogovens en Staalfabrieken NV in IJmuiden opgericht. In 1999 fuseerde het bedrijf met British Steel en veranderde de naam in Corus. In 2007 wordt Corus overgenomen door TATA Steel en staat het bekend als TATA Steel Europe.

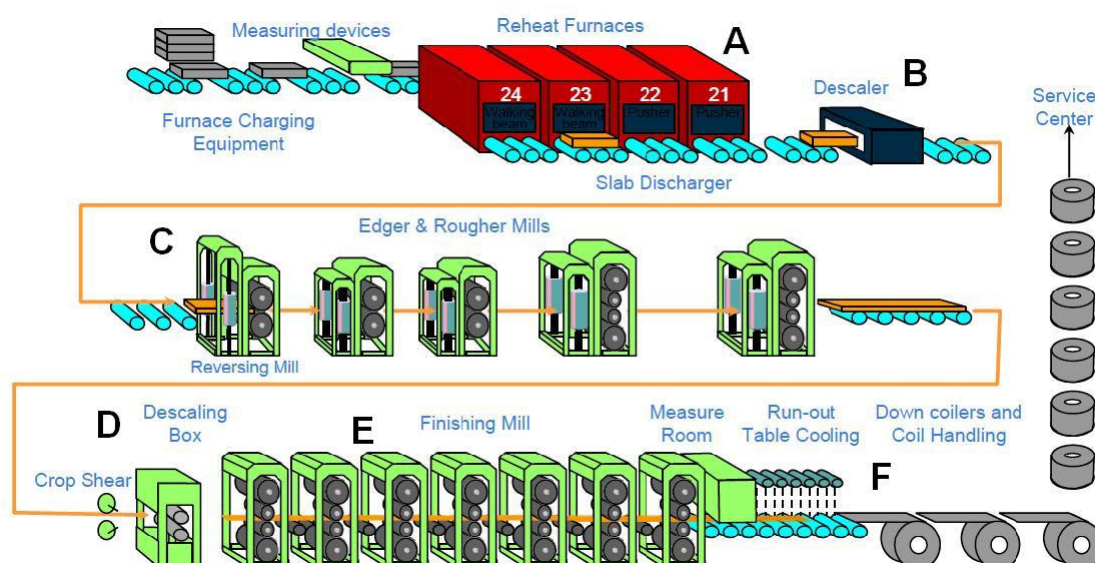
De geschiedenis van TATA Steel begint officieel met de uitgifte van aandelen van de TATA Iron & Steel Company op 26 augustus 1907. Doordat voor het eerst in de geschiedenis van India via de aandelen een brede laag van de bevolking wordt betrokken bij de oprichting van een bedrijf, wordt TATA Steel gezien als de eerste echte onderneming van India.

TATA Steel in IJmuiden is onderdeel van de Europese activiteiten van TATA Steel. Bij TATA Steel in IJmuiden werken ruim 9000 mensen. Zij produceren en leveren jaarlijks meer dan 7 miljoen ton hoogwaardig en bekleed staal in de vorm van rollen. Het staal uit IJmuiden wordt met name verwerkt in de automobiellindustrie, de verpakkingindustrie en de bouw. Het materiaal wordt verder gebruikt in batterijen, buizen, industriële voertuigen en huishoudelijke apparaten zoals koelkasten en fornuizen. Het bedrijfsterrein is 750 hectare groot en ligt direct aan de Noordzee. Het bedrijfsterrein ligt in de gemeenten Heemskerk, Beverwijk en Velsen. TATA Steel IJmuiden is de werkplek voor medewerkers van verschillende bedrijfsonderdelen, zoals TATA Steel Strip Industries, TATA Steel Packaging, TATA Steel Automotive en TATA Steel Technology.

1.1.1 Warmbandwalserij 2

In de Warmbandwalserij 2, gestart in 1969, worden plakken staal uitgewalst tot een dunne band die tot een rol wordt opgewikkeld. Daarbij wordt de dikte van de plak gereduceerd van maximaal 228 mm naar minimaal 1 mm. Ook worden hier de mechanische eigenschappen en de vorm van de band bepaald, dit zorgt ervoor dat er verschillende soorten staal gemaakt kunnen worden.

In figuur 1 is een schematisch overzicht gegeven van WB2.



Figuur 1: Schematisch overzicht WB2

Vanuit de Oxystaalfabriek worden plakken staal aangevoerd naar de WB. Deze plakken zijn 5500 tot 12000 mm lang, 600 tot 2100 mm breed en 225 mm dik. Omdat de plakken warmgewalst worden, worden deze plakken opgewarmd in schuif en wandelovens (**A**).

Omdat het staal constant aan de open lucht wordt blootgesteld vormt zich een laag oxide op het staal. Dit is niets anders dan roest en kan een negatieve invloed hebben op het productieproces. Bij de oxidebreker (**B**) wordt het oxide door middel van water onder hoge druk verwijderd.

Vervolgens komt de plak aan bij de 5 voorwalsen (**C**). Voorwals 1 is een speciale voorwals waar de plak maximaal 3 keer gewalst wordt. De overige 4 voorwalsen zullen het staal maar één keer walsen. Na het voorwalsen heeft het staal een dikte van ongeveer 35 mm.

Door het walsen en de hitte zijn de kop en de staart vervormd. Veelal heeft dit de vormen die aangeduid worden met de termen *fishtail* (vissenstaart) en *dogbone* (bot). Om de kop en staart weer mooi recht te maken worden deze er met een rolschaar afgeknipt (**D**).

Afhankelijk van de klantspecificaties wordt het staal met maximaal 7 eindwalsen (**E**) verder gereduceerd tot minimaal 1 mm. Omdat het staal nog warm is en verdund is kan deze snel gaan vervormen. Om dit tegen te gaan is elke eindwals uitgerust met een roller die het materiaal strak trekt zodat deze niet meer kan vervormen.

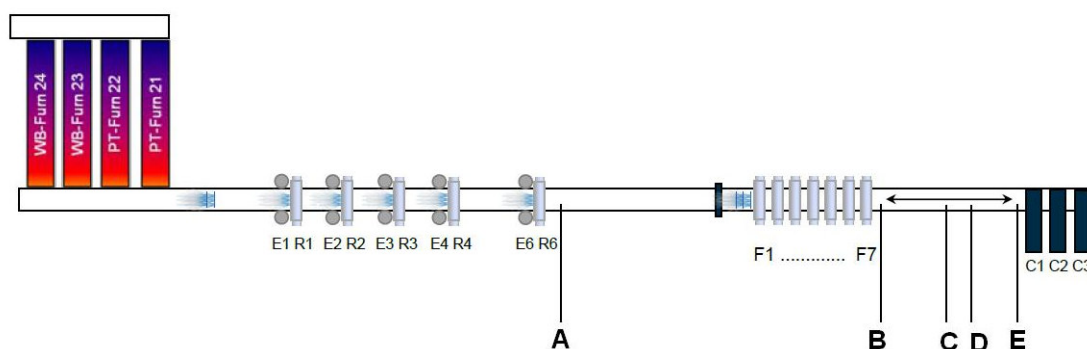
Na de eindwalsen is er een lange rollenbaan (**F**) waar het staal door middel van water verder gekoeld wordt. Hier worden de eigenschappen van het staal bepaald, afhankelijk van de snelheid waarmee het staal wordt afgekoeld. Aan het einde worden de plakken staal opgerold tot rollen staal en naar het service center gestuurd waar het verder verwerkt wordt.

1.2 Projectopdracht

1.2.1 Probleemstelling

Om het walsproces succesvol te laten verlopen worden er verschillende metingen uitgevoerd aan het warmgewalste product. Onder deze metingen worden onder andere temperatuurmetingen, breedtemetingen en diktemetingen verstaan. Deze metingen geven de gemeten waarden door aan het centrale installatie besturingssysteem (*NERO*), dat vervolgens de aanpassingen doorgeeft die de walsstraat moet ondergaan om het staal op een hoge kwaliteit te houden. Belangrijk is dat de metingen reproduceerbaar zijn.

De opdracht richt zich op de meetkringen van de pyrometers. Deze zijn schematisch weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Schematisch overzicht temperatuursensoren

De pyrometers zijn TV6 Hoog/Laag, (A), ET-1 (B), ET-2(C), T-oprol Hoog (D) en T-oprol Laag (E). Op TV6 Hoog na (bovenmeting) zijn de hiervoor genoemde temperatuur metingen “*under strip temperature measurements*” (ondermetingen).

Deze meetkringen moeten twee keer per jaar gekalibreerd worden om te verifiëren of eventuele afwijkingen nog binnen de gestelde toleranties vallen. De klant dient afgeschermd te worden voor kwalitatieve problemen van het warmgewalste product. Vanwege kostenbesparing bij TATA Steel wordt nu gekeken of deze kalibratiemetingen geautomatiseerd kunnen worden. Er moet op gelet worden dat alles redundant uitgevoerd wordt.

In het onderzoek moet bekeken worden of de niet te vermijden kosten gereduceerd kunnen worden, dit wordt gedaan door middel van kosten/baten analyse.

1.2.2 Opdrachtomschrijving

Van kwalitatieve temperatuurmetingen de meetkringen zodanig aanpassen dat er zonder tussenkomst van een engineer periodiek en automatisch een kalibratie van de gehele meetkring uitgevoerd wordt (ET-1). Naast de uitkomst “Pass/Fail” moet er ook gezorgd worden dat er automatisch een kalibratie certificaat gegenereerd en geborgd opgeslagen wordt.

1.3 Betrokken personen

Functie: Afstudeerder
Naam: Joey Lubbers
Mail: Joey_Lubbers@hotmail.com

Functie: Opdrachtgever
Naam: Joop Rijnsburger
Mail: Joop.Rijnsburger@tatasteel.com

Functie: Bedrijfsmentor
Naam: Joop Rijnsburger
Mail: Joop.Rijnsburger@tatasteel.com

Functie: Afstudeercoach
Naam: Johan Woudstra
Mail: J.B.Woudstra@hhs.nl

1.4 Projectactiviteiten

Om ervoor te zorgen dat het project goed verloopt zijn er activiteiten uitgezet. De activiteiten zijn als volgt:

Onderzoeken:

- Opzoeken informatie van de betreffende componenten
- Onderzoeken huidige kalibratie methode
- Onderzoeken temperatuurmeetkringen
- Onderzoeken alternatieve methode(s)
- Kosten en baten
- Uitwerken alternatieve methode(s)

Realisatie:

- Beschikbare apparatuur indexeren
- Beschikbare materialen indexeren
- Berekeningen maken
- Ontwerpen alternatieve methode(s)
- Prototype ontwikkelen

Testen:

- Testmethode opstellen
- Prototype testen
- Testrapport opstellen
- Verwerken testuitslagen in prototype
- Prototype opnieuw testen

Verslaglegging:

- Documentatie opstellen
- Informatie ordenen en samenvoegen

In de onderzoeksfase wordt alle informatie van de betreffende componenten opgezocht en de huidige kalibratiemethode onderzocht. Ook worden de gegevens van de betreffende temperatuursensoren opgezocht en bestudeerd. Als laatste wordt er een alternatieve methode bedacht en uitgewerkt.

Tijdens de realisatie wordt de gekozen methode uitgewerkt en wordt hiervan een prototype ontwikkeld.

In de testfase wordt er een proefopstelling gemaakt/gesimuleerd voor het testen van het prototype. Hiervoor is een testruimte beschikbaar gesteld. Na het testen worden de gegevens verwerkt en wordt het prototype, indien nodig, aangepast en opnieuw getest.

Als laatste wordt alle benodigde documentatie gebundeld.

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



2. Onderzoek

Tijdens dit project is er onderzoek verricht naar een methode om een kalibratiemeetkring te automatiseren. In dit hoofdstuk wordt eerst beschreven wat de huidige hardware is. Vervolgens wordt er uitgelegd wat kalibreren is. Als laatste wordt aangegeven wat er nodig is om een kalibratiemeetkring te automatiseren en wat er onderzocht is om dit te realiseren.

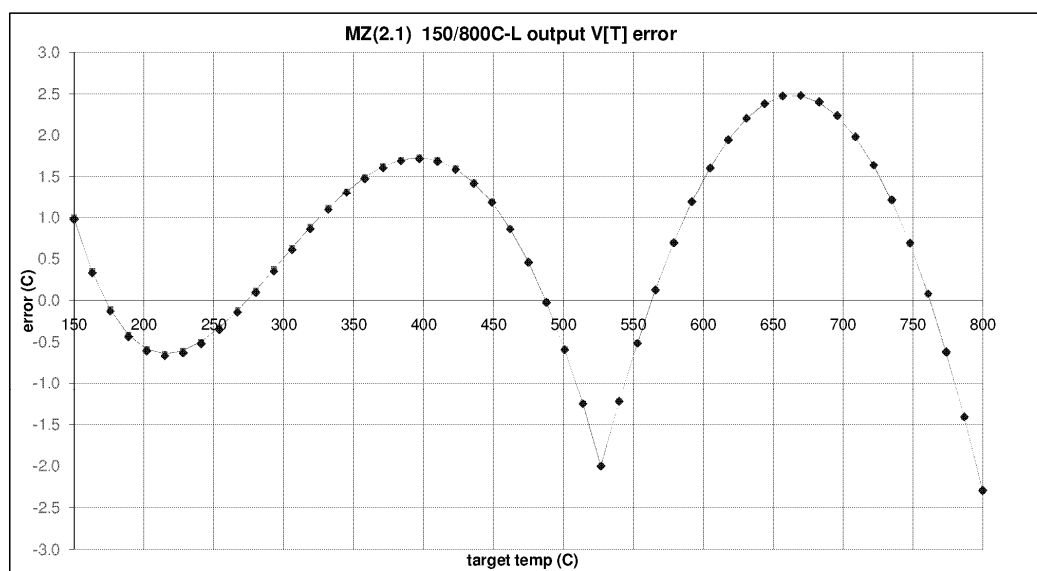
2.1 Hardware

2.1.1 LAND SYSTEM4 Pyrometers

De SYSTEM4 pyrometers van LAND zijn contactloze temperatuuropnemers. Het meetbereik ligt tussen de 0 en 2600 °C. Afhankelijk van het type pyrometer dat geselecteerd wordt varieert de golflengte tussen de 1 en de 5 μm . De pyrometers zijn uitgerust met een optische kabel, zodat de pyrometers zelf buiten de baan blijven. Ook kunnen de pyrometers uitgerust worden met een laser wat het uitlijnen van de pyrometers mogelijk maakt. Het gedrag van de temperatuursensor is niet lineair, daarom heeft elk type pyrometer zijn eigen polynoom, een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 4. In deze polynoom is te zien wat de afwijking is bij een bepaalde temperatuur in °C.



Figuur 3: LAND pyrometer



Figuur 4: Polynoom pyrometers

2.1.2 LANDMARK GRAPHIC

De Landmark Graphic is de signaalprocessor van de pyrometers. De Landmark Graphic heeft 4 kanalen waar een 4...20mA signaal op aangesloten kan worden. Deze kanalen zijn afzonderlijk in te stellen op een bepaald temperatuurbereik. In de Landmark Graphic zijn alle polynomen van de pyrometers opgenomen en deze kunnen met behulp van een keuzemenu geselecteerd worden. Op de Landmark Graphic kan voor elk kanaal afzonderlijk een emissiefactor en temperatuur meetbereik worden ingesteld.



Figuur 5: LANDMARK Graphic

2.1.3 Unomat TRX II

De Unomat TRX II is een draagbare multifunctionele kalibrator. De Unomat TRX II kan gebruikt worden om een signaal te genereren en een signaal te ontvangen. Er kan stroom, thermokoppels, spanning en weerstanden gegenereerd en gemeten worden.



Figuur 6: Unomat TRX II

2.2 Kalibreren

Kalibreren is het vergelijken van een systeem of apparaat met een standaard om de eigenschappen vast te stellen. Bij het kalibreren van meettoestellen wordt de afwijking van het meettoestel vastgesteld. Dit kan door te vergelijken met een referentie of met een berekend model. De afwijkingen worden vastgelegd in een zogenaamde correctietabel. Op basis van de kalibratie kan worden bepaald of het meettoestel nog aan zijn specificaties voldoet. Kalibratie is een meting. Omdat iedere meting principieel een zekere onnauwkeurigheid heeft, wordt bij de resultaten altijd de meetonnauwkeurigheid vermeld.¹

2.2.1 Het belang van kalibreren

Het productieproces om van een plak staal een dunne rol te maken is een complex proces. De temperatuur is van groot belang bij het creëren van de producteigenschappen, welke op basis van de klantspecificaties, bepaald worden. Omdat een verschil van enkele graden de producteigenschappen tijdens het productieproces drastisch kunnen beïnvloeden is het van belang dat de temperatuurmetingen kwalitatief en nauwkeurig worden uitgevoerd. Vanwege het belang zijn de temperatuurmetingen redundant uitgevoerd. Daarnaast wordt door die redundantie de continuïteit en kwaliteit van de metingen gewaarborgd. Na elke plak wordt door de millcomputer bepaald welke van de twee pyrometers de hoogste output had en deze wordt dan geselecteerd voor het meten van de plaktemperatuur van de volgende plak. Ook wordt het onderlinge temperatuurverschil continu bewaakt en bij een onderling temperatuurverschil van meer dan 15 °C wordt er een alarm gegenereerd. Om ervoor te zorgen dat de gemeten temperatuur ook daadwerkelijk de gemeten temperatuur is worden de pyrometers en bijbehorende apparatuur gekalibreerd.

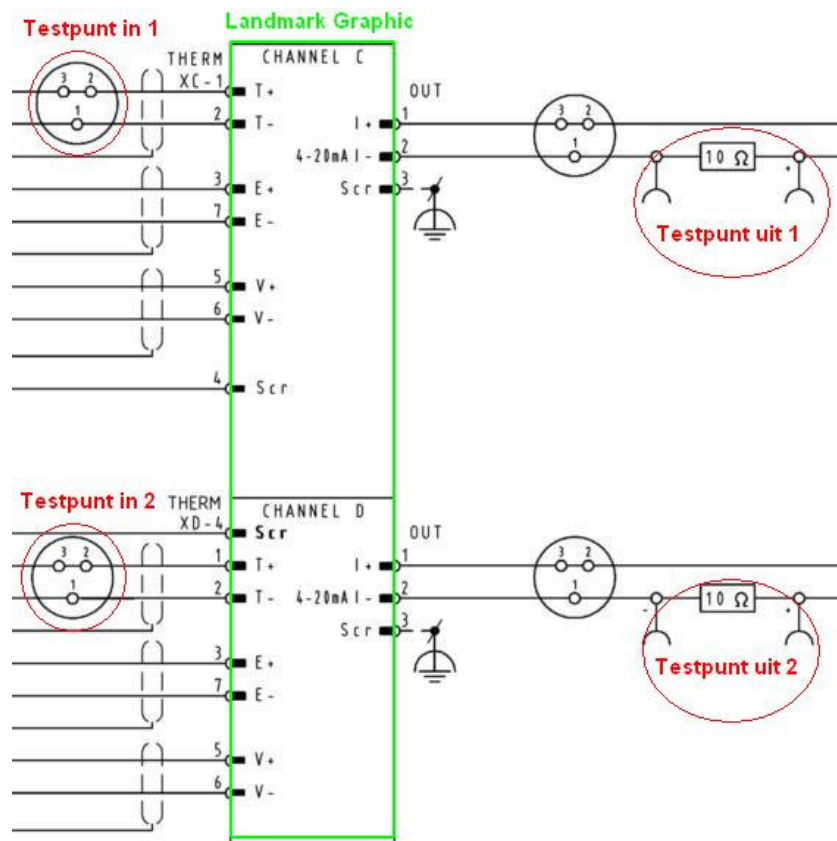
2.2.1 Huidige kalibratiemethode

Twee keer per jaar wordt er een extern bedrijf ingehuurd dat de kalibratiemetingen van de temperatuurmeetkringen uitvoert. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Unomat TRX II. De gegevens van de Unomat TRX II die gebruikt zijn met het berekenen van de resolutie zijn te vinden in *hoofdstuk 2.3*.

De output van de Unomat TRX II wordt met behulp van de DIN plug aangesloten op **Testpunt in 1**, zoals te zien is in figuur 7. De input wordt aangesloten over de 10Ω weerstand op **Testpunt uit 1**. De output van de Unomat wordt geconfigureerd op mA en de input op mV. Vervolgens wordt de eerste (vooraf bepaalde) stroomwaarde de LMG ingestuurd en de bijbehorende spanning uitgelezen. Deze waarden worden genoteerd. Vervolgens wordt een laptop met een meetprogramma aangesloten, dit programma logt alle gemeten waarden en legt deze digitaal vast in een tekstbestand. Hierna wordt de tweede stroomwaarde de LMG ingestuurd en de bijbehorende spanning uitgelezen. Dit wordt weer genoteerd. Dit proces herhaalt zich tot alle waarden zijn verstuurd, uitgelezen en digitaal opgeslagen. Na het eerste kanaal getest te hebben wordt de Unomat op precies dezelfde manier aangesloten op **Testpunt in 2** en **Testpunt uit 2** en wordt het proces van het versturen en meten van waarden herhaald.

Nadat alle metingen zijn uitgevoerd worden de genoteerde waarden en de laptop ingeleverd bij het Technisch Beheer Meetinstrumenten.

¹ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kalibreren>



Figuur 7: Schematisch overzicht temperatuurmeting

Deze opdracht richt zich op de *temperatuurmeetkringen*, en niet direct op de pyrometers, daarom zal er niet beschreven worden hoe de pyrometers gekalibreerd worden.

2.2.2 Eisen kalibratie temperatuurmeetkringen WB2

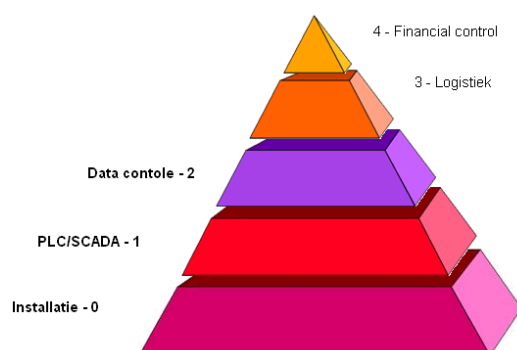
De verlangde nauwkeurigheid van de temperatuurmetingen is onder andere afgeleid van de nauwe productspecificaties van de meest kritische warm gewalste producten van de warmbandwalserij. Op een aantal van deze metingen is een Meet Systeem Analyse (MSA) uitgevoerd. Uit deze verlangde nauwkeurigheid zijn de toleranties voortgekomen. Deze toleranties zijn vastgelegd in kalibratie-tabellen en zullen later in dit document behandeld worden.

2.3 Automatiseren

2.3.1 Siemens PLC

In de warmbandwalserij worden veel producten van Siemens gebruikt; Motoren die de walsen aansturen en PLC's die de warmbandwalserij automatiseren. Omdat er veel Siemens producten gebruikt worden en de kennis en infrastructuur aanwezig is, is het voor de hand liggend om de oplossing ook met Siemens producten te realiseren.

De automatisering binnen Tata Steel kan opgedeeld worden in 5 lagen: installatielaag (0), de PLC/SCADA-laag (1), de data controlelaag (2), de logistiek-laag (3) en de financiële controlelaag (4). Deze zijn te vinden in figuur 8.



Figuur 8: 5-lagen model

De stageopdracht richt zich op laag 0 en 1. De installatielaag richt zich op alle sensoren en actuatoren. De PLC/SCADA-laag richt zich op de besturing en data acquisitie van de PLC's.

Omdat de infrastructuur binnen de Warmbandwalserij voornamelijk op PROFIBUS werkt wordt er gezocht naar een oplossing dat ook via PROFIBUS werkt.

2.3.2 TDC

De TDC is een zeer snelle en krachtige PLC. Deze PLC's worden special voor applicaties die veel rekenkracht vergen gebruikt. De IO van de TDC kan zowel centraal als decentraal gebruikt worden.



Figuur 9: Siemens TDC

2.3.3 ET200M

De SIMATIC ET200M is een modulair I/O-station voor toepassingen in de schakelkast met een hoge kanaaldichtheid. Aansluitingen op PROFIBUS en PROFINET worden bereikt met behulp van interface modules. Het modulaire I/O-systeem bestaat uit twee (redundant) ET 200M Interface Modules en tot 12 I/O-modules. Op de ET200M kunnen SIMATIC S7-300 I/O-kaarten worden aangesloten.



Figuur 10: ET200M

2.3.4 Analog Output

Om succesvol een kalibratiemeting te kunnen verrichten moet er een analoog signaal gegenereerd worden van enkele milliampères. Omdat een PLC in principe alleen digitaal is moet er gezocht worden naar kaarten die een analoog signaal kunnen genereren door middel van een DA convertor. Omdat de resolutie tot op de μA nauwkeurig moet zijn is het van belang dat de resolutie zo groot mogelijk is. De S7-300 serie biedt een aantal output kaarten aan, welke wij kunnen vergelijken met de specificaties van de Unomat TRX II, we willen immers qua nauwkeurigheid niet achteruit gaan. De specificaties zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Analog Output

Siemens	SM 332 4x16bits			Unomat	
Bereik	$\pm 20mA$	0..20mA	4..20mA	Bereik	0..24mA
Totaal meetbereik (mA)	40	20	16	Totaal meetbereik (mA)	24
Aantal bits (incl. sign)	16	15	15		
Rated range (%)	84,375	84,375	84,375		
Resolutie (μA)	0,723	1,447	1,157	Resolutie (μA)	1
Hoogste meetpunt (mA)	20	20	20	Laagste uitleeswaarde (mA)	4
Basic operational limit bij 25°C (%)	0,02	0,02	0,04	Hoogste uitleeswaarde (mA)	20
Lineariteits error (%)	0,004	0,004	0,004	Uitlees foutmarge (%)	0,01
Repeat accuracy	0,002	0,002	0,002	Range foutmarge (%)	0,02
Basic operational afwijking (μA)	4,0	4,0	8,0		
5°C Temperature error (μA)	4,0	4,0	4,0		
Lineariteits afwijking (μA)	0,8	0,8	0,8		
Repeat accuracy afwijking (μA)	0,4	0,4	0,4		
Max afwijking Tmax = 30 (μA)	5,7	5,7	9,0	Max afwijking (μA)	5,2
Min afwijking bij (μA)	0,7	1,4	1,2	Min afwijking (μA)	1

Hier zijn alle beschikbare Siemens output kaarten weergegeven, in dit geval is alleen de SM332 beschikbaar.

Het bereik geeft aan wat het instelbare bereik is. Het totale meetbereik geeft aan over hoeveel milliampères het in totaal gaat. In het geval van $\pm 20\text{mA}$ loopt het meetbereik van -20mA tot $+20\text{mA}$.

Het aantal beschikbare bits is afhankelijk van het ingestelde meetbereik. Bij het $\pm 20\text{mA}$ bereik worden alle 16 bits gebruikt, maar bij de $0..20\text{mA}$ en $4..20\text{mA}$ bereiken worden er maar 15 gebruikt.

Bij alle Siemens kaarten worden de waardes left-aligned opgeslagen, waarbij de MSB aangeeft of de waarde positief ("0") of negatief ("1") is. Als er een bitje minder beschikbaar is betekent dit dat de LSB één plaatsje naar links verschuift en de rechterbit (aangeduid met 'x') automatisch "0" wordt gemaakt. Dit verdubbelt de waarde van de LSB. Bijvoorbeeld met de stap van 15bits naar 14bits wordt de waarde van de LSB van 2 verdubbeld naar 4. Dit betekent dus ook dat de resolutie twee keer zo laag wordt bij een verschil van 1 bit. Een overzicht hiervan is te vinden in tabel 2.

Tabel 2: Bepaling LSB

Resolution in bits (+ incl. sign)	Units	Analog value	
		high byte	low byte
14	4	Sign 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1 x x
15	2	Sign 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 1 x
16	1	Sign 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1

Bij de Siemens kaarten wordt gebruik gemaakt van een rated range. Deze rated range is een percentage van het totaal aantal beschikbare bits waarbinnen het bereik gerealiseerd is. Alles buiten deze range wordt beschouwd als overflow (of underflow) en kan gebruikt worden om eventuele afwijkingen vast te stellen. De Siemens kaarten hebben een rated range van 84,375%. Dit betekent dat het aantal beschikbare meetpunten bij 16bits waarbij de waarde niet boven de 20mA komt gelijk is aan $2^{15} * 84,375\% = 27648$. Let op dat wij geen negatieve signalen zullen opwekken en ons sign bit (MSB) dus nooit mee zal tellen.

De resolutie weergeeft de waarde van een enkele bit. Dit is de kleinste stap die gegenereerd kan worden voor het gegeven meetbereik.

De resolutie kan worden berekend door middel van onderstaande formule:

$$\text{Resolutie} = \frac{\text{Total}}{2^n * \text{Rated}}$$

Waarbij:
Resolutie (mA)
Total: Totale Meetbereik (mA)
N: aantal bits
Rated: Rated range (%)

De resolutie is maar één deel wat de nauwkeurigheid van de kaart bepaald, waarbij de minimale afwijking gelijk is aan de resolutie. Er zijn een aantal verschillende afwijkingen die samen de maximale afwijking van de kaart bepalen:

Tabel 3: Errors

Basic Operational Limit	Maximale afwijking kaart bij kamertemperatuur (25°C).
Lineairiteits Error	Maximale afwijking tov ideale DA convertor
Repeat Accuracy	Maximale afwijking bij herhalen zelfde meting
Temperature Error	Maximale afwijking bij afwijking kamertemperatuur. $\pm 5^\circ\text{C}$ genomen als maximale afwijking.

Alle afwijkingen zijn berekend door middel van onderstaande formule:

$$Afwijking = \frac{\text{Bereik}}{\text{Error}}$$

Waarbij: *Afwijking: Max Afwijking (mA)*
Bereik: Hoogste meetbereik (mA)
Error: Errorpercentage (%)

Voor de maximale afwijking worden alle afwijkingen gekwadrateerd en bij elkaar opgeteld.
Vervolgens wordt uit de som van de kwadraten de wortel getrokken.

Zoals te zien is, zijn de specificaties vergelijkbaar. Aangezien de datasheet van de Unomat redelijk beperkt is en zij niet alle foutmarges geven of onafgeronde waardes, kan niet gezegd worden wat de exacte resolutie en afwijkingen zullen zijn.
De resultaten uit tabel 1 worden later in dit hoofdstuk verder behandeld.

2.3.5 Analog Input

Om succesvol een kalibratiemeting te kunnen verrichten moet er een analoog signaal worden gemeten. Omdat een PLC in principe alleen digitaal is moet er gezocht worden naar kaarten die een digitaal signaal kunnen genereren door middel van een AD convertor. Omdat de resolutie tot op de μV nauwkeurig moet zijn is het van belang dat de resolutie zo groot mogelijk is. De S7-300 serie biedt een aantal input kaarten aan, welke wij kunnen vergelijken met de specificaties van de Unomat TRX II, we willen immers qua nauwkeurigheid niet achteruit gaan. De specificaties zijn weergegeven in tabel 3.

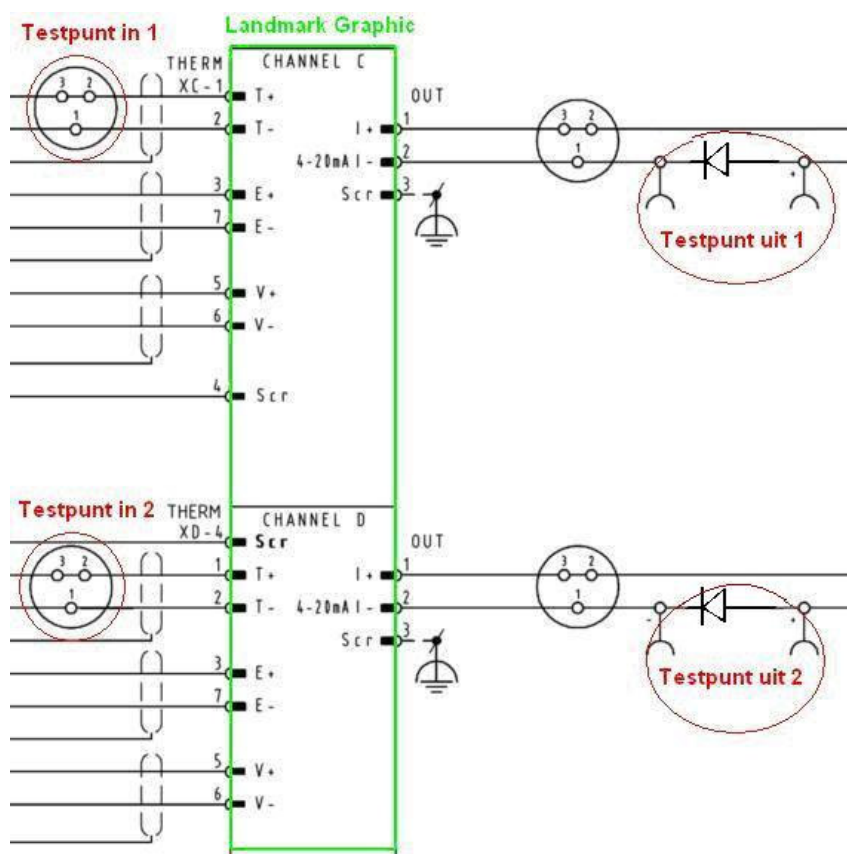
Tabel 4: Analog Input Spanning

Siemens	SM 331 8x16bits (6ES7331-7NF10-0AB0)			Unomat	
Bereik	$\pm 10\text{V}$	$\pm 5\text{V}$	$1..5\text{V}$	Bereik	100..600mV
Totaal meetbereik (V)	20	10	4	Totaal meetbereik (V)	0,5
Aantal bits (+sign)	16	16	16		
Rated range (%)	84,375	84,375	84,375		
Resolutie (mV)	0,362	0,181	0,145	Resolutie (mV)	0,01
				Laagste uitleeswaarde (V)	0,042
Hoogste meetpunt (V)	10	5	5	Hoogste uitleeswaarde (V)	0,200
Basic operational limit bij 25°C (%)	0,05	0,05	0,05	Uitlees foutmarge (%)	0,025
Lineariteits error (%)	0,01	0,01	0,01	Range foutmarge (%)	0,005
Repeat accuracy (%)	0,01	0,01	0,01		
Basic operational afwijking (mV)	5,000	2,500	2,500		
5°C Temperature error (mV)	2,500	1,250	1,250		
Lineariteits afwijking (mV)	1,000	0,500	0,500		
Repeat accuracy afwijking (mV)	1,000	0,500	0,500		
Max afwijking (mV)	5,766	2,883	2,883	Max afwijking (mV)	0,056
Min afwijking (mV)	0,362	0,181	0,145	Min afwijking (mV)	0,010

Wat opvalt, is dat het meten van spanning erg onnauwkeurig is, er komen géén kaarten in de buurt van de gevraagde nauwkeurigheid.

Binnen het team Meetinstrumenten bestaat al langer de behoefte om de kalibratiemetingen aan te passen en over te stappen naar het meten over een diode ipv een weerstand. Een weerstand heeft namelijk een bepaalde afwijking waardoor de meting minder nauwkeurig wordt, terwijl een diode dat niet heeft. De drempelspanning van een diode zorgt ervoor dat de stroom de weg van de minste weerstand volgt en dat is door de stroommeter.

Om dit in de praktijk te testen zijn de weerstanden van ET-1 vervangen door diodes. Dit is te zien in figuur 11.



Figuur 11: Schematische weergave meting met diode

Na het plaatsen van de diodes is er een kalibratiemeting uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn te vinden in tabel 4.

Tabel 5: Kalibratie ET-1 na plaatsing diodes

ET-1 TEMPERATUURMEETKRING KALIBRATIE TOP						
TEMP IN °C	mA TP In 1 INPUT	mA OUTPUT LMG	TOLERANTIE GRENZEN	mA TP Uit 1	Uitlezing DISPLAY LMG	SMARTERM.STW IN °C (VIA DCC) voor kalibratie
320	4,396	4,400	4,375 <-> 4,425 mA 318,5 °C <-> 321,5 °C	4,375 ÷ 4,425 4,400 mA	320 °C	319,99 320,24 320,52 320,82 320,00
500	7,994	8,000	7,973 <-> 8,027 mA 498,3 °C <-> 501,7 °C	7,973 ÷ 8,027 7,997 mA	500 °C	499,73 499,17 499,37 499,64 499,93
700	11,996	12,000	11,971 <-> 12,029 mA 698,0 °C <-> 702,0 °C	11,971 ÷ 12,029 11,998 mA	700 °C	698,46 699,29 698,02 698,18 699,15
900	16,031	16,000	15,968 <-> 16,032 mA 897,7 °C <-> 902,3 °C	15,968 ÷ 16,032 15,995 mA	900 °C	897,71 898,40 898,28 898,74 899,12
1080	19,570	19,600	19,565 <-> 19,635 mA 1077,4 °C <-> 1082,6 °C	19,565 ÷ 19,635 19,610 mA	1081 °C	1078,54 1078,49 1078,26 1079,64 1078,31

Te zien zijn de temperaturen waarop de kalibratiemetingen worden uitgevoerd en de bijbehorende stroomwaardes. Verder zijn de grenzen aangegeven waarbinnen de gemeten waardes zich moeten bevinden. Alle gemeten waardes bevinden zich binnen de grenzen.

Na deze test is besloten om te zoeken naar een analoge input kaart die stroom kan meten. In tabel 5 is een overzicht te vinden.

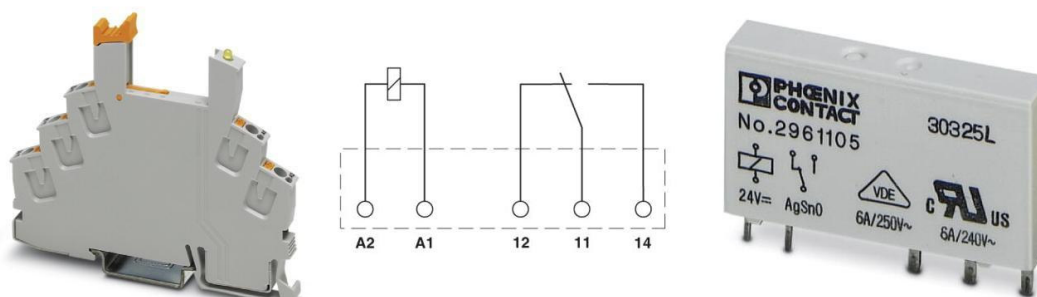
Tabel 6: Analog Input Stroom

Siemens	SM 331 8x16bits 6ES7331-7NF10-0AB0			SM 331 8x16bits 6ES7331-7NF00-0AB0			Unomat
Bereik	±20mA	0..20mA	4..20mA	±20mA	0..20mA	4..20mA	0..24mA
Totaal meetbereik (mA)	40	20	16	40	20	16	54
Aantal bits (incl. sign)	16	15	15	16	15	15	
Rated range (%)	84,375	84,375	84,375	84,375	84,375	84,375	
Resolutie (µA)	0,723	0,723	0,579	0,723	0,723	0,579	1
Hoogste meetpunt (mA)	20	20	20	20	20	20	
Basic operational limit bij 25°C (%)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Lineariteits error (%)	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	
Repeat accuracy	0,01	0,01	0,01	0,025	0,025	0,025	
Basic operational afwijking (µA)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
5°C Temperature error (µA)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
Lineariteits afwijking (µA)	2,0	2,0	2,0	6,0	6,0	6,0	
Repeat accuracy afwijking (µA)	2,0	2,0	2,0	5,0	5,0	5,0	
Max afwijking Tmax = 30 (µA)	11,5	11,5	11,5	13,6	13,6	13,6	5,8
Min afwijking bij (µA)	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	1

Er zijn 2 kaarten beschikbaar die qua resolutie in de buurt komen van de µA. Het voornaamste verschil zit in de lineariteits- en repeat accuracy afwijkingen, welke bij de 6ES7 331-7NF00-0AB0 iets hoger zijn.

2.4 Wisselrelais

Om ervoor te zorgen dat de pyrometer en de outputkaart hetzelfde kanaal op de LMG kunnen delen, maar elkaar niet beïnvloeden, is er een wisselrelais aangebracht van Phoenix Contacts. Dit wisselrelais is te zien in figuur 12.



Figuur 12: Wisselrelais

Dit Read-relais kan geactiveerd worden door middel van het vesturen van een digitale signaal op poort A2. Hierdoor worden kanaal 11 en 14 met elkaar verbonden en de verbinding tussen kanaal 11 en 12 verbroken.

2.5 Beslissing

Aan de hand van de resultaten uit tabel 1 en tabel 5 is er een overzicht gemaakt van de betreffende kaarten met de instelbare ranges. Hier zijn een aantal criteria op los gelaten om door middel van een weging te bepalen welke analoge output en analoge inputkaarten de voorkeur genieten. Ook wordt er bepaald welke range gebruikt gaat worden.

Kosten: Belangrijk maar minder belangrijk dan de nauwkeurigheid, vandaar de zwaarte 4 toegekend. Een laag cijfer komt overeen met de goedkoopste kaart. Een hoger cijfer betekent een duurdere kaart.

Nauwkeurigheid/Afwijking: De belangrijkste punten, vandaar ook de hoogste waarde van 5 toegekend. De kaarten mogen qua nauwkeurigheid en afwijking niet teveel van de huidige methode met de Unomat TRX II afwijken. Een laag cijfer betekent een hoge nauwkeurigheid en een kleine afwijking.

Complexiteit: Hoe moeilijk zijn de kaarten te programmeren en zijn er extra bewerkingen nodig om de kaart werkend te krijgen. Eigenlijk voor alle kaarten hetzelfde behalve de SM331 12bit kaart die geprogrammeerd kan worden als een 14bit kaart. Bij deze kaart zijn er extra bewerkingen nodig die het tot stand brengen van de oplossing zullen compliceren. Een hoger cijfer betekent een grotere complexiteit.

Tabel 7: Beslissingstabel Output Kaarten

Outputkaarten				
		SM 332 4x16bits		
	Zwaarte	±20mA	0..20mA	4..20mA
Kosten	4	1	1	1
Nauwkeurigheid	5	1	3	2
Afwijking	5	1	1	2
Complexiteit	2	1	1	1
Totaal		16	26	26

Tabel 8: Beslissingstabel Input Kaarten (Stroom)

Inputkaarten (Stroom)							
		SM 331 8x16bits 6ES7331-7NF00-0AB0			SM 331 8x16bits 6ES7331-7NF10-0AB0		
	Zwaarte	±20mA	0..20mA	4..20mA	±20mA	0..20mA	4..20mA
Kosten	4	1	1	1	2	2	2
Nauwkeurigheid	5	2	2	1	2	2	1
Afwijking	5	2	2	2	1	1	1
Complexiteit	2	1	1	1	1	1	1
Totaal		26	26	21	25	25	20

Op basis van deze beslissingstabellen gaat de voorkeur uit naar:

Output: SM 332 4x16bits (6ES7 332-7ND02-0AB0) met als range ±20mA. Dit is overigens ook de enige kaart die in de buurt komt van de vereiste nauwkeurigheid.

Input: SM 331 8x16bits (6ES7 331-7NF10-0AB0) met als range 4..20mA. Dit is een inputkaart waar de stroom nauwkeuriger gemeten kan worden dan de spanning met de andere kaarten.

2.6 Kosten

Aan de hand van de huidige kosten om te kalibreren en de resultaten uit de tabellen is er een kostenberekening gemaakt wat de terugverdientijd zal zijn.

De 6 temperatuurmetingen worden 2 keer per jaar gekalibreerd. Hier worden 2 personen ingehuurd die €72,50 per uur kosten en ongeveer 3 uur bezig zijn. Hierbij worden ook €25 voorrij kosten gerekend. Deze gegevens zijn te vinden in tabel 9.

Tabel 9: Huidige kosten kalibratiemetingen

Personeel	Kosten/Uur	Uren	Voorrij kosten	Keren per jaar	Aantal Metingen	Totaal per jaar
2	€ 72,50	3	€ 25,00	2	6	€ 5.520,00

In tabel 10 zijn de kosten van de in- en output kaarten te vinden. In totaal zijn er 8 kaarten nodig, 2 per LMG (1 output en 1 input) en 2 critical spare parts (1 output en 1 input).

Tabel 10: Kosten toepassen in/output kaarten

	Kosten output kaart	Aantal	Totaal
SM332 4x16bits 6ES7332-7ND02-0AB0	€ 452,25	4	€ 1.809,00
SM331 8x16bits 6ES7332-7NF10-0AB0	€ 523,50	4	€ 2.094,00
			€ 3.903,00

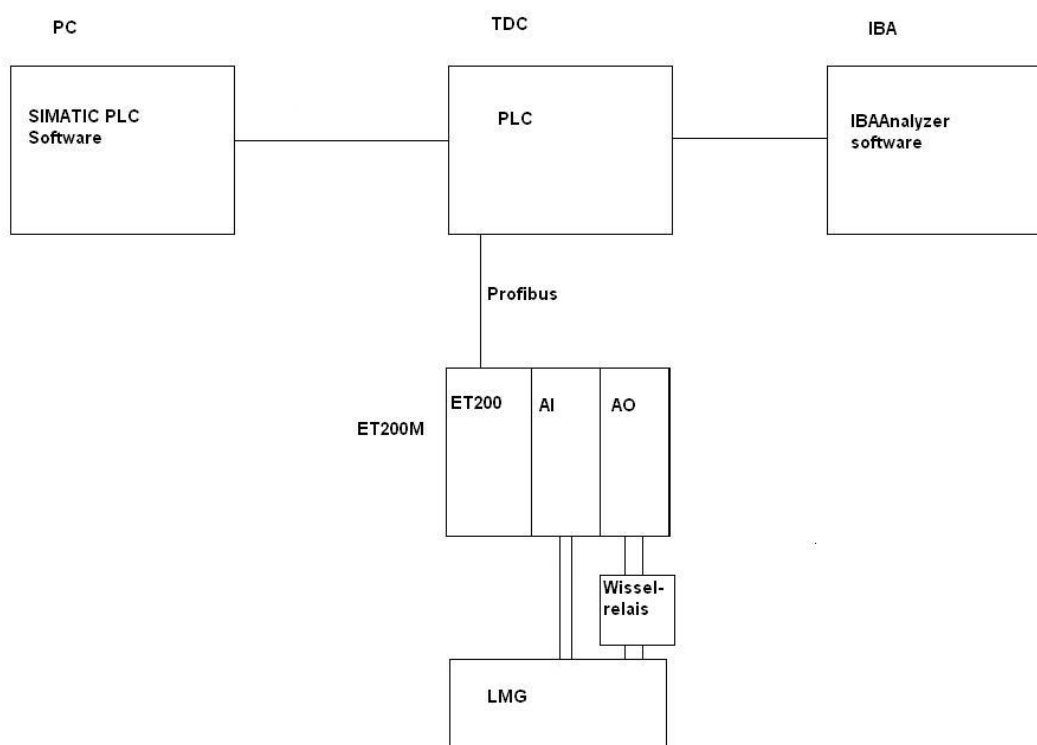
Aan de hand van tabel 9 en 10 kan de ROI (return on investment) uitgerekend worden. Dit wordt berekend door de uitgaven van de in- en output kaarten te delen door de kosten van de huidige kalibratiemethode. Met deze berekening komen we uit op een terugverdientijd van ongeveer 9 maanden.

3. Ontwerp

Het ontwerpen van het prototype is opgesplitst in 2 gedeeltes; het maken van een PLC programma met een Siemens Simatic TDC PLC en het automatisch genereren van een meetrapport met de data uit “IBA Analyzer”.

3.1 De meetopstelling

In figuur 13 is een schematisch overzicht van de meetopstelling weergegeven.



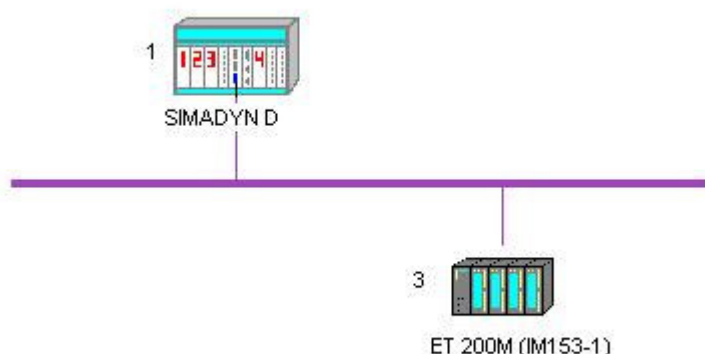
Figuur 13: Schematisch overzicht meetopstelling

Tabel 11: Toelichting meetopstelling

PC	SIMATIC PLC Software. Meer informatie te vinden in hoofdstuk 3.3
TDC	Master PLC, voor de meetopstelling is gebruik gemaakt van decentrale IO via Profibus en ET200 basisstations. Meer informatie te vinden in hoofdstuk 2.3.2
ET200M	Slave substation, bestaande uit een Interface Module, Analog Input en Analog Output. Meer informatie te vinden in hoofdstuk 2.3.3
Wisselrelais	Gebruikt om de Analog Output op de ingang van de LMG te schakelen. Meer te vinden in hoofdstuk 2.4
LMG	Landmark Graphic. Meer te vinden in hoofdstuk 2.1.2
IBA	IBA Analyzer Software, meer informatie te vinden in hoofdstuk 3.4

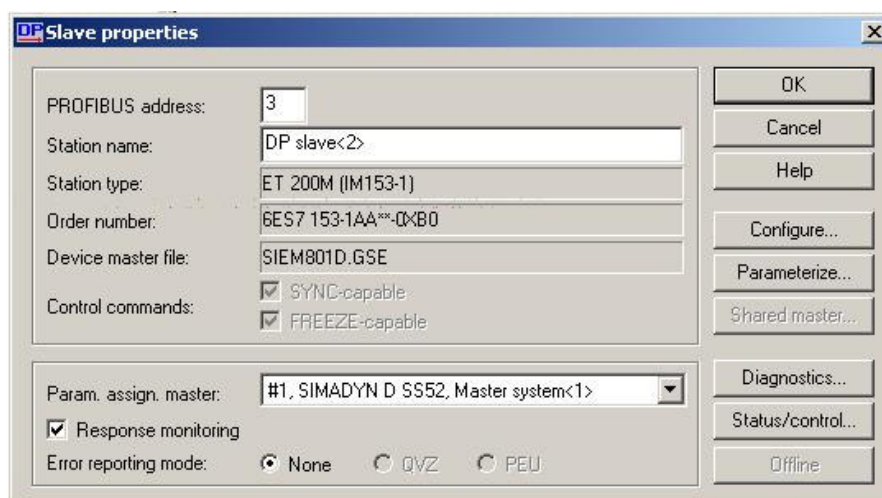
3.2 Hardware configuratie

Voordat begonnen kan worden met het maken van een flowchart moet er een profibus hardware configuratie geupload worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van "COM PROFIBUS". "COM PROFIBUS" is een programma waarmee je een profibus configuratie kan maken en parameters kan instellen. In "COM PROFIBUS" zit een library met profibus deelnemers van waaruit je de profibus configuratie kan samenstellen. Vervolgens kun je deze configuratie uploaden naar de TDC. In figuur 14 is de gebruikte hardwareconfiguratie weergegeven.

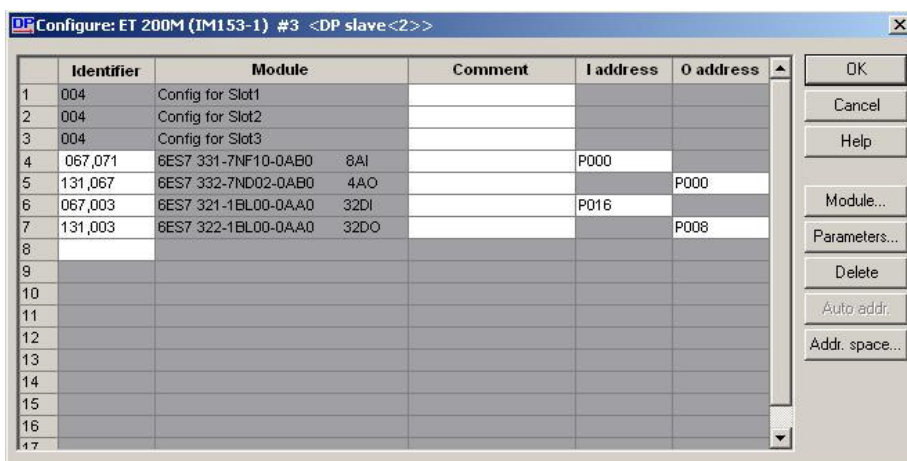


Figuur 14: Overzicht hardwareconfiguratie

De profibusverbinding is aangegeven met de paarse lijn. Hierop zijn de SIMADYN D (TDC) en de ET200M verbonden. De SIMADYN D is de master en is geconfigureerd op PROFIBUS adres 1. De ET200M is de slave en is geconfigureerd op PROFIBUS adres 3. Als de ET200M geopend wordt verschijnt het venster dat te zien is in figuur 15. In dit overzicht kan het PROFIBUS adres gewijzigd worden. Ook is hier het type van de profibusmodule van de ET200M te zien, dit is de IM153-1. Via de knop *Parameterize* kunnen een aantal parameters meegegeven worden, hier wordt in dit geval geen gebruik van gemaakt. Via de knop *Configure* worden de input en output kaarten toegevoegd aan het ET200 IM-153-1 basisstation. Dit is te zien in figuur 16.



Figuur 15: ET200M configuratie



	Identifier	Module	Comment	I address	O address
1	004	Config for Slot1			
2	004	Config for Slot2			
3	004	Config for Slot3			
4	067,071	6ES7 331-7NF10-0AB0 8AI		P000	
5	131,067	6ES7 332-7ND02-0AB0 4AO			P000
6	067,003	6ES7 321-1BL00-0AA0 32DI		P016	
7	131,003	6ES7 322-1BL00-0AA0 32DO			P008
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

Figuur 16: ET200M moduleconfiguratie

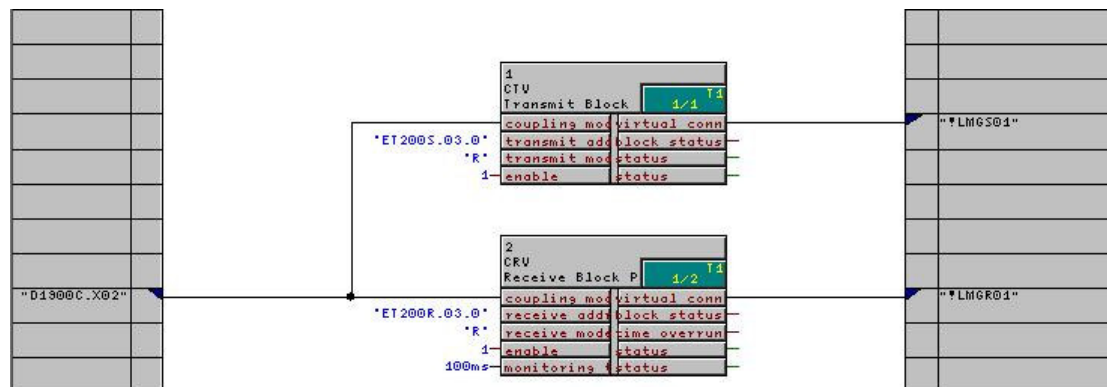
Deze tabel geeft de configuratie van de ET200M weer. De eerste 3 slots moeten vrijgehouden worden voor een eventuele power supply module, CPU module en communicatie module. Met de knop *Module...* kunnen nieuwe kaarten worden toegevoegd. In slot 4 zit de analoge inputkaart 331-7NF10-0AB0. Als deze geselecteerd is en op de knop *Parameters...* gedrukt wordt kunnen de parameters ingesteld worden. De inputkaart is geconfigureerd op 4-channel mode met een bereik van +/-20mA, dit is gedaan om de input- en de outputkaart qua bereik gelijk te houden. In slot 5 zit de analoge outputkaart 331-7ND02-0AB0. De outputkaart is geconfigureerd op een range van +/- 20mA naar aanleiding van het vooronderzoek. In slot 5 en 6 zitten de digitale input en output kaarten 321-1BL00-0AA0 en 322-1BL00-0AA0. Deze kaarten worden gebruikt om de wisselrelais aan te sturen.

De TDC kan niet direct de hardware configuratie lezen, daarom moet deze eerst omgezet worden naar een binary-file (.2bf). Nadat de binary-file is aangemaakt kan de hardware configuratie door middel van het programma "ss52load" geladen worden in de profibuskaart van de TDC. Dit programma maakt verbinding met de TDC via de COM-poort en upload de gemaakte hardware configuratie. Na het uploaden moet de TDC gereset worden om de hardware configuratie te laden.

3.3 Softwarepakket SIMATIC

3.3.1 Verbinding ET200M

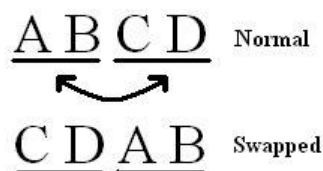
“SIMATIC” is het software pakket van Siemens waarmee Siemens PLC's en HMI stations geprogrammeerd kunnen worden. Bij deze opdracht wordt gebruik gemaakt van D7-SYS, waarmee CFC en SFC geprogrammeerd kunnen worden. Als eerste wordt er softwarematig een verbinding met de ET200M gemaakt worden, dit is te zien in figuur 17.



Figuur 17: Profibus Communicatie

De TDC en de ET200M communiceren via PROFIBUS (zie figuur 13). De TDC is in slot 19 uitgerust met een profibuskaart, deze profibuskaart gebruikt poort X02. Via de SIMATIC configuratie heeft deze de naam *D1900C.X02* gekregen. Dit is waar de profibusverbinding met de ET200M-slave aangeroepen kan worden. Om deze verbinding succesvol te maken in CFC zijn er een CTV (Transmit) en een CRV (Recieve) block nodig. CTV verstuurt en CRV ontvangt data via de profibusverbinding. De software verstuurt de benodigde gegevens via de virtuele connecties *'LMGS01'* en ontvangt de benodigde gegevens via de virtuele connecties *'LMGR01'*.

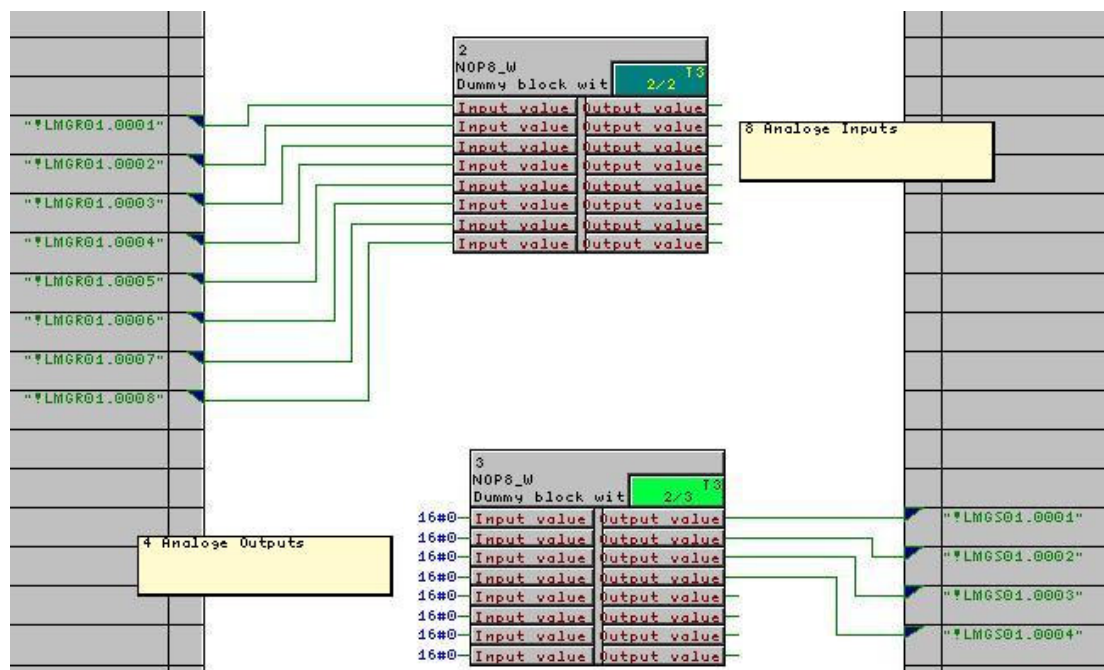
Via het transmit adres en recieve adres kan de ET200M geselecteerd worden. De benaming van deze adressen is opgedeeld in 3 adresvakken, gescheiden door een punt. In het eerste adresvak wordt een naam gegeven, in het tweede adresvak wordt het PROFIBUS adres opgegeven en in het laatste adresvak kan worden aangegeven of er gebruik gemaakt wordt van byteswapping. Als deze waarde op 0 staat wordt er byteswapping toegepast, als deze op 1 staat wordt er geen byteswapping toegepast. Aangezien er eventuele problemen kunnen ontstaan als er geen byteswapping wordt toegepast is ervoor gekozen dit niet te doen. Hoe byteswapping wordt toegepast is te zien in figuur 18.



Figuur 18: Byteswapping

3.3.2 IO definiëren

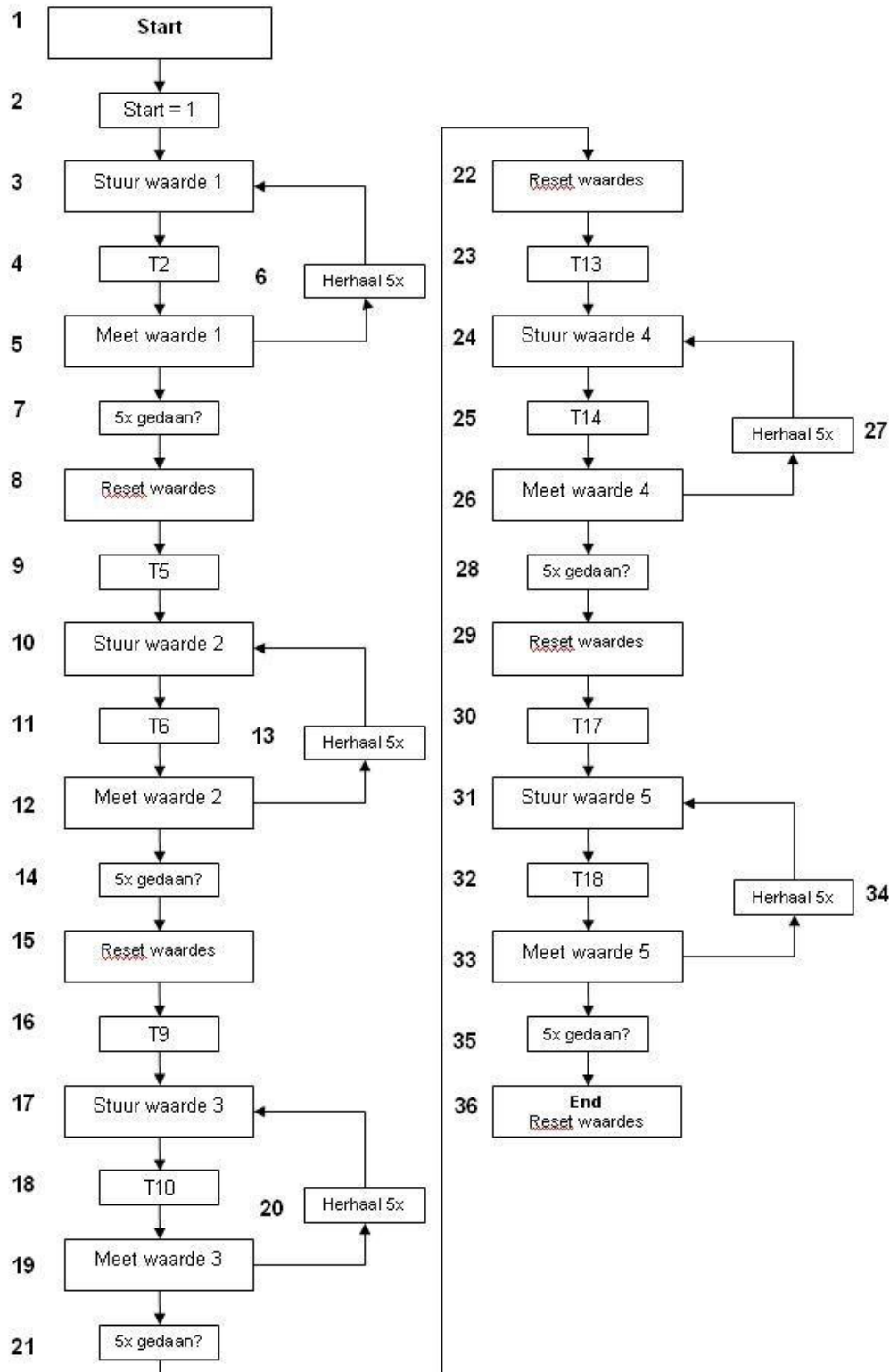
De TDC geeft een foutmelding als de software niet gelijk is aan de hardware. Om deze foutmelding te voorkomen maken we bij de analoge kaarten gebruik van zogenaamde *No Operation* (NOP8_W) blocks, een 8 in/output dummy block waar we WORDs mee kunnen maken (WORD = 16 bit). Deze zijn te zien in figuur 19. De inputs en outputs komen overeen met het aantal inputs en outputs dat de gebruikte kaarten hebben. Deze inputs en outputs zijn verbonden met de virtuele connectie die is aangemaakt met de CTV en CRV blocks zodat deze poorten door de software gebruikt kunnen worden.



Figuur 19: NOP-blokken

3.3.3 Flowchart

Om de kalibratiemetingen uit te voeren is er een flowchart gemaakt in SFC. Een schematisch overzicht van deze flowchart is weergegeven in figuur 20.



Figuur 20: Flowchart Kalibratiemeting

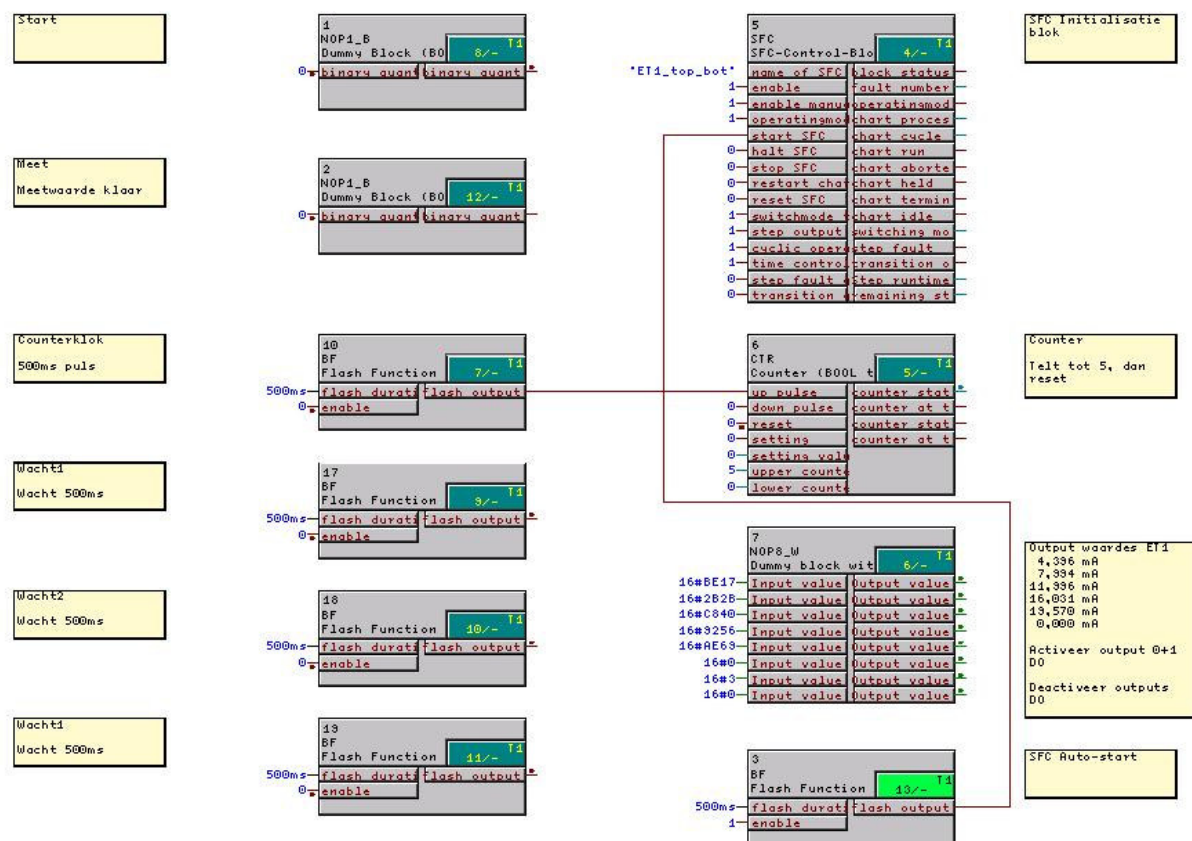
Een versimpelde werking van de flowchart is te vinden in tabel 12. Een uitgebreid overzicht van de werking van de flowchart is te vinden in **Bijlage I**.

Tabel 12: Werking flowchart

Stap Nr.	Stap Naam	Werking
1	Start	Initialiseer SFC
2	Transitie 1	Initialiseer meting 1
3	Stuur waarde 1	Stuur 4,396mA
4	Transitie 2	Wacht 500ms
5	Meet waarde 1	Meet waarde
6	Transitie 3	Herhaal 3-5 vijf keer
7	Transitie 4	Meting 1 vijf keer uitgevoerd
8	Reset	Reset timers en counters
9	Transitie 5	Initialiseer meting 2
10	Stuur waarde 2	Stuur 7,994mA
11	Transitie 6	Wacht 500ms
12	Meet waarde 2	Meet waarde
13	Transitie 7	Herhaal 10-12 vijf keer
14	Transitie 8	Meting 2 vijf keer uitgevoerd
15	Reset	Reset timers en counters
16	Transitie 9	Initialiseer meting 3
17	Stuur waarde 3	Stuur 11,996mA
18	Transitie 10	Wacht 500ms
19	Meet waarde 3	Meet waarde
20	Transitie 11	Herhaal 17-19 vijf keer
21	Transitie 12	Meting 3 vijf keer uitgevoerd
22	Reset	Reset timers en counters
23	Transitie 13	Initialiseer meting 4
24	Stuur waarde 4	Stuur 16,031mA
25	Transitie 14	Wacht 500ms
26	Meet waarde 4	Meet waarde
27	Transitie 15	Herhaal 24-26 vijf keer
28	Transitie 16	Meting 4 vijf keer uitgevoerd
29	Reset	Reset timers en counters
30	Transitie 17	Initialiseer meting 5
31	Stuur waarde 5	Stuur 19,570mA
32	Transitie 18	Wacht 500ms
33	Meet waarde 5	Meet waarde
34	Transitie 19	Herhaal 31-33 vijf keer
35	Transitie 20	Meting 5 vijf keer uitgevoerd
36	End	Reset timers, counters en outputs

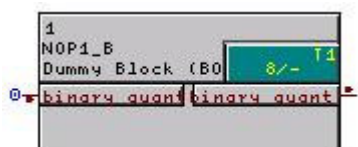
3.3.4 Logica

De flowchart uit figuur 20 doorloopt een loop waar de waarden die bij de kalibratiemeting nodig zijn verstuurd en gemeten worden. Om deze loop te doorlopen is logica nodig. In figuur 21 is een overzicht van de gebruikte logica weergegeven.



Figuur 21: Overzicht logica

- 1) **Start.** Figuur 2. Als dit signaal hoog is begint de PLC met de kalibratiemetingen. Deze knop moet het signaal van een totale stilstand tijdens groot onderhoud simuleren.
- 2) **Meet.** Figuur 22. Als dit signaal hoog is, wordt via de IBA Analyzer de waarde uitgelezen en opgeslagen. Dit signaal wordt 500ms na het versturen van de meetwaarde hoog gemaakt.

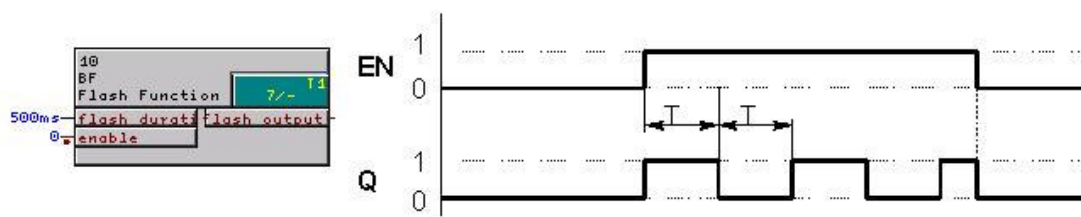


Figuur 22: Start en Meet

3) Wacht1. Figuur 23. Dit functieblok schakelt de output tussen 1 en 0 met periodetijd T zolang EN=1. Deze timer wordt gebruikt na het versturen van de meetwaarden om het signaal aan de uitgang van de LMG te laten stabiliseren.

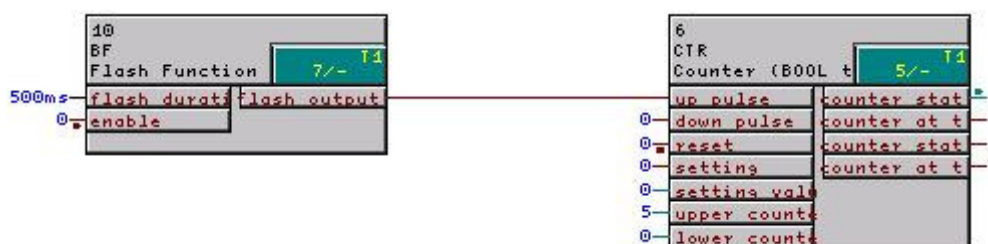
4) Wacht2. Figuur 23. Dit functieblok schakelt de output tussen 1 en 0 met periodetijd T zolang EN=1. Deze timer wordt gebruikt na het meten van de waarden om het signaal te laten stabiliseren en *meet* hoog te maken.

5) Wacht3. Figuur 23. Dit functieblok schakelt de output tussen 1 en 0 met periodetijd T zolang EN=1. Deze timer wordt gebruikt om tussen de metingen alle timers en counters te resetten.



Figuur 23: Wacht1 en Wacht2

6) Counter. Figuur 24. Dit functieblok is een edge-triggered up/down counter. Voor elke opgaande puls op de input *up pulse* wordt de teller met 1 verhoogd. De teller wordt op 0 gezet door een 1 naar *reset* te schrijven. Deze counter wordt gebruikt om de metingen 5 keer uit te voeren.



Figuur 24: Counter

7) Output. Figuur 25. Dit NOP blok wordt gebruikt om de te versturen waardes te genereren. Op de input worden de waardes gezet en deze kunnen vervolgens via de output gebruikt worden in de SFC.

Input value	Output value
16#BE17	
16#2B2B	
16#C840	
16#3256	
16#AE63	
16#0	
16#3	
16#0	

Figuur 25: Output

De hexadecimale waardes die verstuurd worden zijn berekend met de resolutie en de te versturen waardes uit tabellen 1 en 4. Deze zijn berekend door middel van de volgende formule:

$$Bit - waarde = \frac{Inputwaarde}{Totaal \quad bereik} \cdot 2^n * rated \quad range$$

De waarde die uit deze formule komt wordt omhoog afgerond en vervolgens omgezet naar de hexadecimale waarde.

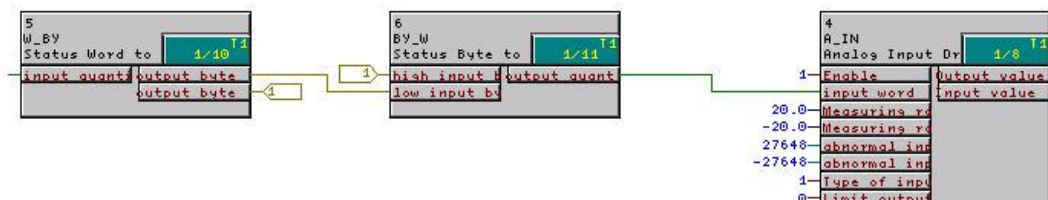
8) SFC_init. Figuur 26. Dit blok initialiseert de SFC en zorgt ervoor dat deze gebruikt kan worden. De SFC wordt automatisch geïnitieerd door een rising edge op *start SFC*.

name of SFC block status	fault number
enable	fault number
enable manual	operatingmod
operatingmode	chart proces
start SFC	chart cycle
halt SFC	chart run
stop SFC	chart abort
restart chart	chart held
reset SFC	chart termin
switchmode	chart idle
step output	switching mo
cyclic operation	step fault
time control	transition o
step fault	step runtime
transition	remaining st

Figuur 26: SFC_Init

3.3.5 Input/Output uitlezen

Om de input en output signalen makkelijk door te geven aan IBA worden de hexadecimale waarden omgezet naar een decimale waarde door middel van Analog Input Driver blokken. Deze schakeling is weergegeven in figuur 27.



Figuur 27: Analog Input Driver

Omdat de hexadecimale waarden die we versturen en uitlezen swapped binnenkomen moeten we deze eerst terugswappen voordat we gebruik kunnen maken van het Analog Input Driver blok. Dit wordt gedaan door de W_BY en BY_W blokken. Vervolgens wordt op de ingang *input word* de hexadecimale waarde aangeboden. Met behulp van de onderstaande formule wordt de uitgang *output value* bepaald.

$$Y = \left(\frac{MRF - MRI}{SCAL_H - SCAL_L} * (XE - SCAL_L) \right) + MRI$$

Waarbij

- Y = Fysieke (analoge) waarde
- XE = Input variabele
- $SCAL_H$ = Upper range limiet
- $SCAL_L$ = Lower range limiet
- MRF = Hoogste waarde fysieke range
- MRI = Start waarde fysieke range

Als de flowchart en bijbehorende logica gemaakt zijn kunnen deze met behulp van IBA worden uitgelezen.

3.4 IBA

Met de software van IBA kunnen signalen, die door de TDC worden gebruikt, uitgelezen worden. Deze signalen worden grafisch weergegeven op het scherm in de vorm van grafieken en kunnen opgeslagen worden om verdere berekeningen toe te passen. Ook kan er automatisch een rapport gegenereerd worden met de meetgegevens.

3.4.1 IBA Analyzer

Na het doorlopen van de flowchart wordt door IBA de verzamelde data opgeslagen. De data in deze datafiles is weergegeven in figuur 28.



Figuur 28: IBA Signaaloverzicht

Te zien zijn de ingang- en uitgangssignalen van de metingen van ET-1 Top en ET-1 Bot. Verder is het signaal **Meet** te zien dat aangeeft wanneer de analoge waarde uitgelezen kan worden.

Omdat we de meetwaarde willen pakken bij de punten waar met signaal Meting_Klaar hoog is filteren we de overige punten van Input ET-1 Top/Bot eruit. Dit is te zien in figuur 29.



Figuur 29: IBA Gefilterd signaal

Er is gebruik gemaakt van de volgende statement:

<code>AvgValid(IF([0.2],[0:2],false()),IF([0.2],[0:2],false()))</code>	AvgValid weergeeft de waarde van de eerste IF-statement als de tweede IF-statement true is. In de IF-statements wordt het Inputsignaal weergegeven als Meting_Klaar true is.
--	---

De signalen ET-1 Top/Bot Input Correct worden in de report generator gebruikt om een document te genereren.

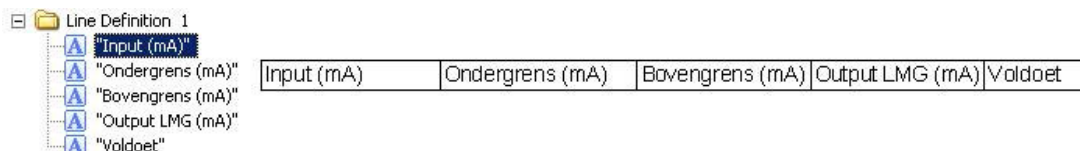
3.4.2 Report generator

Met de report generator kan er aan de hand van een aantal voorwaarden een document gegenereerd worden.

Omdat er een meetrapport maken wordt er gebruik gemaakt van tabellen. In de tabellen zijn de volgende data weergegeven:

- Verstuurde waarde
- Tolerantie ondergrens
- Tolerantie bovengrens
- Gemeten waarde (5 gemeten waardes)
- Pass/Fail, afhankelijk of de gemeten waarde binnen de grenzen valt

De bovenstaande gegevens zijn als Line Header gedefinieerd. Dit is te zien in figuur 30.



Figuur 30: Header definities

Omdat elke lijn van het gefilterde signaal ET-1 Top/Bot Input Correct uit ongeveer 30 meetpunten bestaat, is er besloten om de gegevens op RecordNr te filteren. Elk signaal krijgt van IBA een RecordNr toegewezen als de meting wordt verricht (ongeveer elke 16ms). Gekozen is om de middelste Recordnummers te nemen om zo eventuele verschuivingen op te vangen tussen de metingen.

Er is gebruik gemaakt van de volgende statements:

Tabel 13: Statements kalibratietabel

Naam	Statement	Uitleg
Input	<i>IF(ibaAnalyzer.RecordNr=47,ibaAnalyzer.Output_ET_1_Top)</i>	Als RecordNr=47 dan wordt de bijbehorende waarde van de Input afgedrukt.
Ondergrens	<i>IF(ibaAnalyzer.RecordNr=47,4.375)</i>	Als RecordNr=47 dan wordt de waarde 4.375 afgedrukt.
Bovengrens	<i>IF(ibaAnalyzer.RecordNr=47,4.425)</i>	Als RecordNr=47 dan wordt de waarde 4.425 afgedrukt.
Output LMG	<i>IF(ibaAnalyzer.RecordNr=47 OR ibaAnalyzer.RecordNr=110 OR ibaAnalyzer.RecordNr=173 OR ibaAnalyzer.RecordNr=235 OR ibaAnalyzer.RecordNr=298, ibaAnalyzer.ET_1_Top_Input_Correct)</i>	Als RecordNr=47, 110, 173, 235 of 298 dan worden de bijbehorende waardes van de Outputs afgedrukt.
Voldoet	<i>IF(IF(ibaAnalyzer.RecordNr=47 OR ibaAnalyzer.RecordNr=110 OR ibaAnalyzer.RecordNr=173 OR ibaAnalyzer.RecordNr=235 OR ibaAnalyzer.RecordNr=298, NumInRange(ibaAnalyzer.ET_1_Top_Input_Correct,4.375,4.425))1,0)</i>	Er wordt een 1 afgedrukt als de inputwaarde bij RecordNr=47, 110, 173, 235 of 298 binnen de gestelde grenzen valt.

Als alle tabellen zijn gedefinieerd kan er een document gegenereerd worden. Dit document is weergegeven in figuur 31.

Kalibratieformulier Temperatuurmeting ET-1 Top.

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
4,397	4,375	4,425	4,404	1
			4,404	1
			4,404	1
			4,404	1
			4,404	1
			4,404	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
7,994	7,973	8,027	8,007	1
			8,007	1
			8,006	1
			8,006	1
			8,006	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
11,997	11,971	12,029	12,015	1
			12,015	1
			12,015	1
			12,015	1
			12,015	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
16,032	15,968	16,032	16,056	
			16,056	
			16,056	
			16,056	
			16,056	

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
19,570	19,565	19,635	19,600	1
			19,600	1
			19,600	1
			19,600	1
			19,600	1

Gebruikte apparatuur: 6ES7 331-7NF10-0AB0
 6ES7 332-7ND02-0AB0

Figuur 31: Kalibratietabel ET-1 Top

Te zien is welke waarde er ingestuurd wordt, wat de grenzen zijn en wat de uitgelezen waarde is. In de kolom *Voldoet* wordt een 1 weergegeven als de uitgelezen waarde binnen de grenzen valt. Als deze niet binnen de grenzen valt wordt er niks weergegeven.

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



4. Testen

In dit hoofdstuk worden de verschillende metingen beschreven. Omdat de nauwkeurigheid van de analoge kaarten van groot belang is, is getest wat de afwijkingen bij de verschillende meetwaardes zijn. Bij elke meting is beschreven wat de gebruikte materialen zijn, wat de instellingen van de desbetreffende apparatuur is en is de opstelling grafisch weergegeven.

Vervolgens is er een tabel gemaakt met de gemeten waardes en is van de afwijkingen een grafiek gemaakt die de bovengrens, ondergrens en de gemeten afwijking weergeven. Als laatste zijn de resultaten van de meting kort toegelicht.

De metingen zijn uitgevoerd met behulp van de Unomat TRX II. We gaan er van uit dat de Unomat altijd de juiste waardes weergeeft. Het kalibratiecertificaat van de Unomat is te vinden in **Bijlage II**.

Wegens een groot aantal metingen is het complete meetrapport van de 1^e testfase te vinden in **Bijlage III**.

4.1 Outputkaart (1^e testfase)

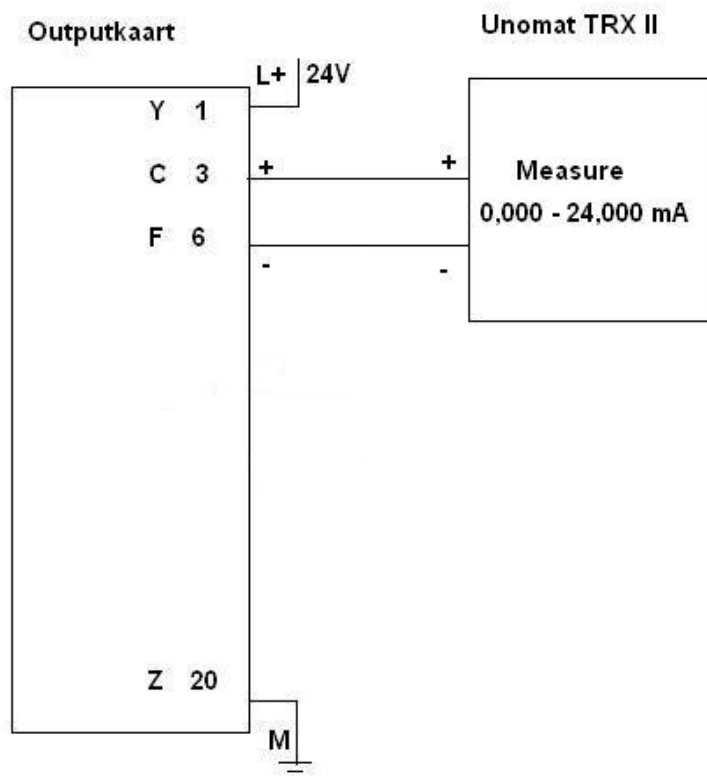
4.1.1 Gebruikte materialen

Outputkaart: 6ES7 332-7ND02-0AB0
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)

4.1.2 Instellingen

De outputkaart is geconfigureerd op +/- 20mA.
De outputkaart is de source en de Unomat is het meetinstrument.

4.1.3 Opstelling

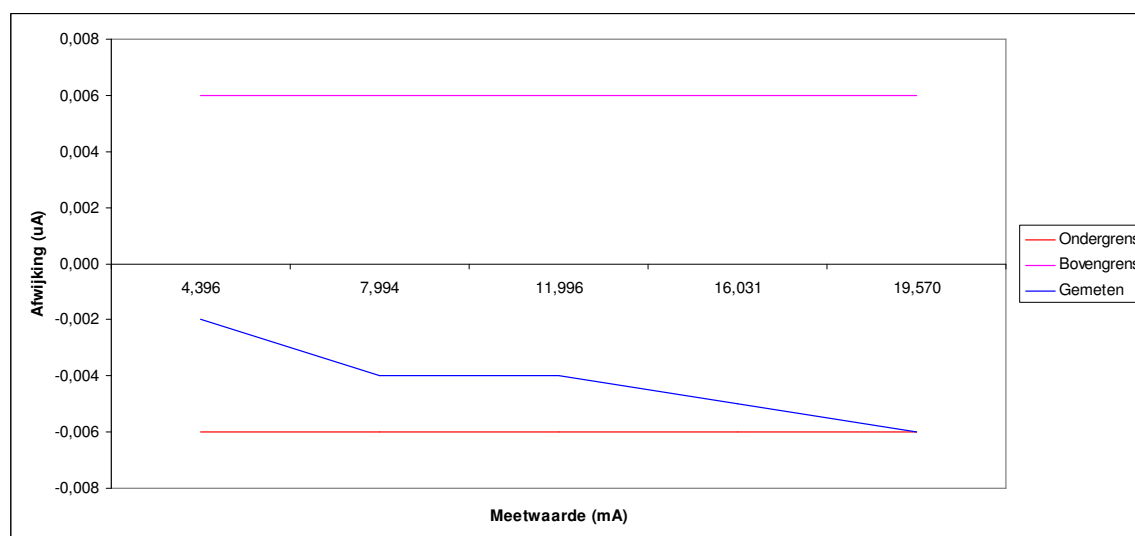


Figuur 32: Opstelling outputkaart

4.1.4 Metingen

Tabel 14: Meetresultaten outputkaart

Channel 0, Meting 1			
Verstuurd (mA)	Hex	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	0x17BE	4,390 <-> 4,402	4,394
			4,394
			4,394
			4,394
			4,394
7,994	0x2B2B	7,988 <-> 8,000	7,990
			7,991
			7,990
			7,990
			7,990
11,996	0x40C8	11,990 <-> 12,002	11,992
			11,992
			11,993
			11,993
			11,993
16,031	0x5692	16,025 <-> 16,037	16,026
			16,027
			16,026
			16,027
			16,027
19,570	0x69AE	19,564 <-> 19,576	19,564
			19,565
			19,565
			19,565
			19,565



Figuur 33: Afwijking outputkaart

4.1.5 Resultaten

De outputkaart valt binnen de berekende afwijkingen zoals deze in de documentatie omschreven staan.

4.2 Inputkaart (1^e testfase)

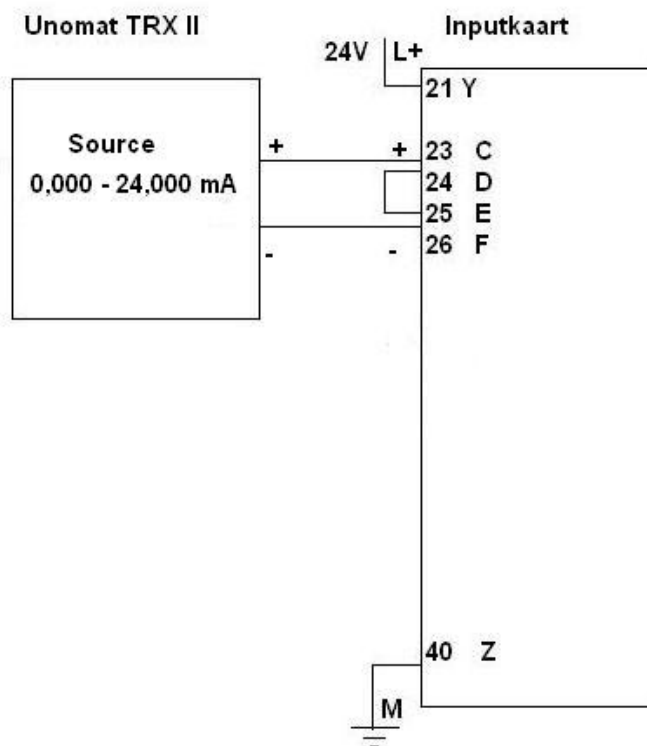
4.2.1 Gebruikte materialen

Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)

4.2.2 Instellingen

De inputkaart is geconfigureerd op +/-20mA en 4 channel mode.
De Unomat is de source en de inputkaart het meetinstrument.

4.2.3 Opstelling

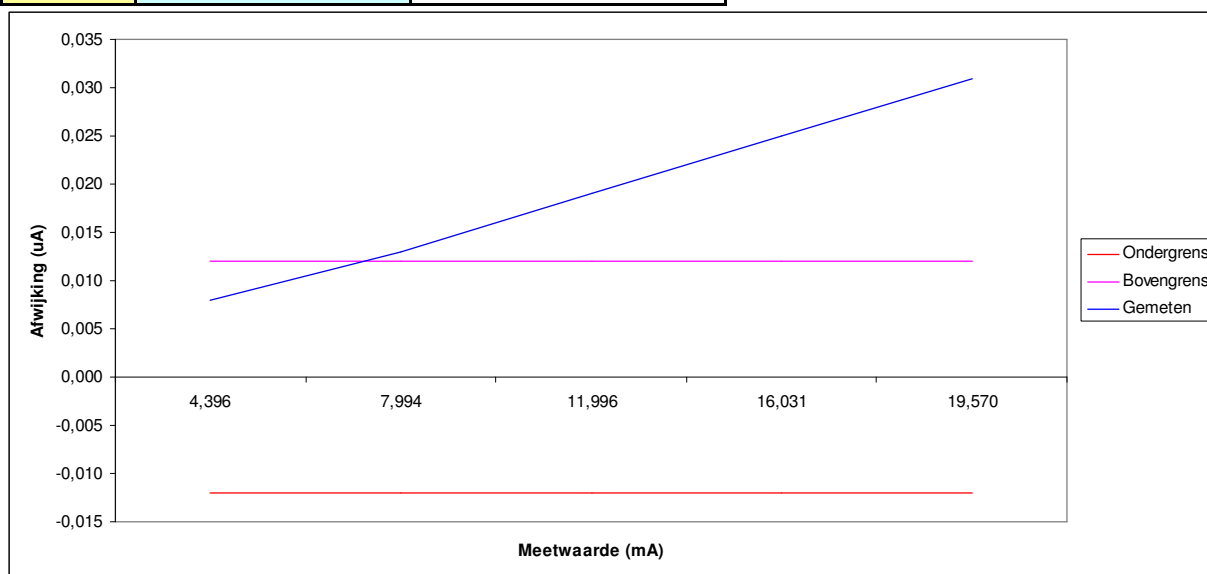


Figuur 34: Opstelling inputkaart

4.2.4 Metingen

Tabel 15: Meetresultaten inputkaart

Channel 2		
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,404
		4,404
7,994	7,982 <-> 8,006	8,007
		8,007
11,996	11,984 <-> 12,008	12,015
		12,015
16,031	16,019 <-> 16,043	16,056
		16,056
19,570	19,558 <-> 19,582	19,601
		19,601



Figuur 35: Afwijking inputkaart

4.3.5 Resultaten

De inputkaart overschrijdt zijn maximale afwijking van $12\mu\text{A}$ vanaf de meting van $11,996\text{mA}$. Deze overschrijding neemt toe naarmate de stroom toeneemt, tot een afwijking van $31\mu\text{A}$ bij een ingestuurde waarde van $19,570\text{mA}$.

4.3 IO opstelling (1^e testfase)

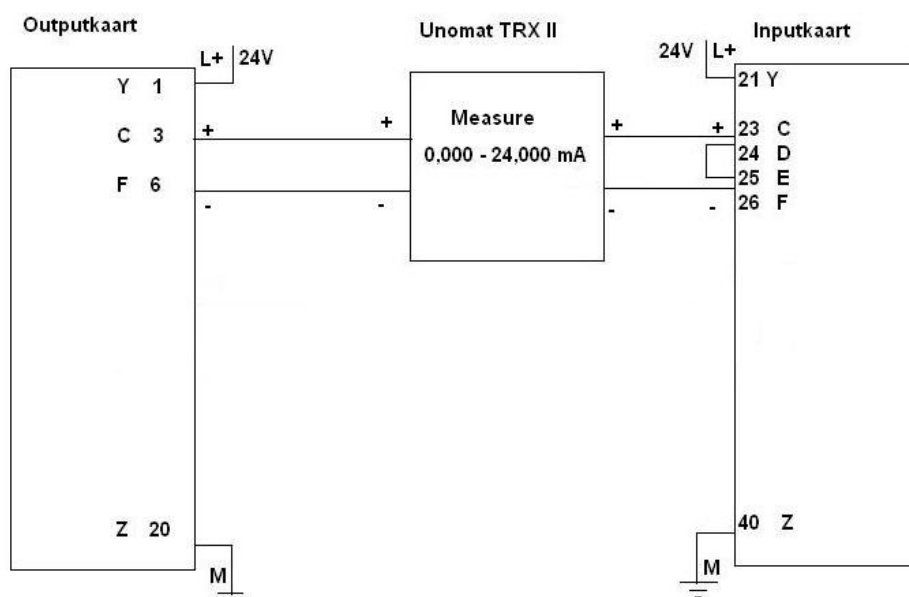
4.3.1 Gebruikte materialen

Outputkaart: 6ES7 332-7ND02-0AB0
 Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0
 Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)

4.3.2 Instellingen

De outputkaart en de inputkaart zijn geconfigureerd op $\pm 20\text{mA}$.
 De outputkaart is de source, de Unomat en de inputkaart zijn de meetinstrumenten.

4.3.3 Opstelling

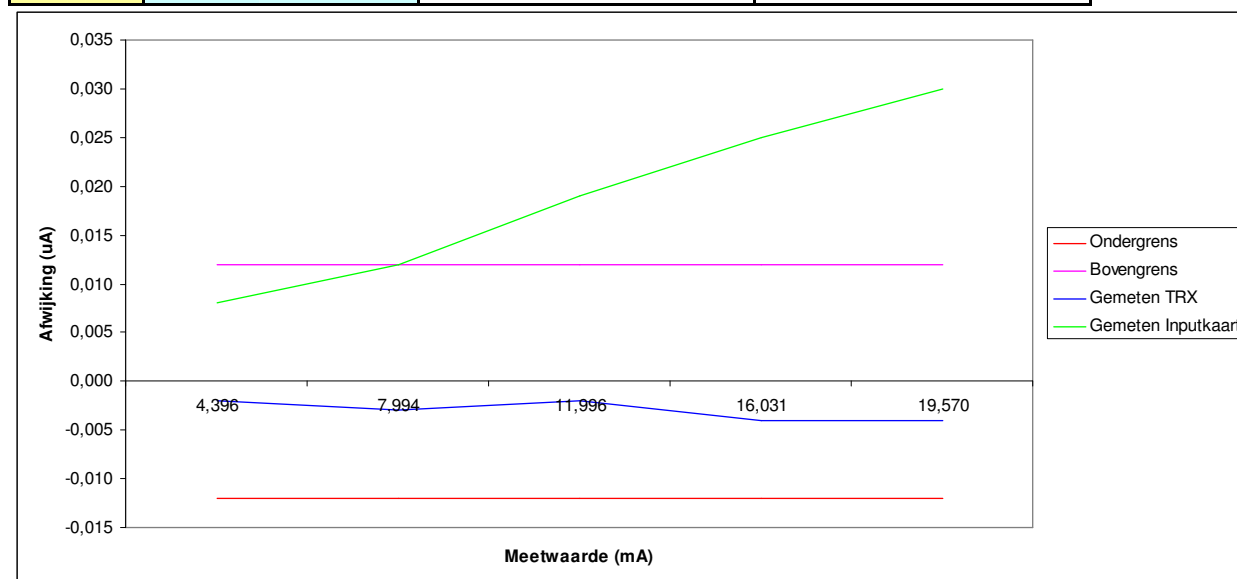


Figuur 36: Complete opstelling

4.3.4 Metingen

Tabel 16: Meetresultaten complete opstelling

Output channel 0/Input channel 2			
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten TRX (mA)	Gemeten inputkaart (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,395	4,404
		4,394	4,404
7,994	7,982 <-> 8,006	7,991	8,006
		7,992	8,006
11,996	11,984 <-> 12,008	11,994	12,015
		11,994	12,015
16,031	16,019 <-> 16,043	16,028	16,056
		16,027	16,056
19,570	19,558 <-> 19,582	19,566	19,600
		19,566	19,600



Figuur 37: Afwijking complete opstelling

4.3.5 Resultaten

De in de documentatie gegeven afwijking wordt bij de inputkaart overschreden. Op basis van de meetresultaten kan gesteld worden dat de inputkaart niet voldoet. Er moet getest worden of dit een enkel incident is of dat dit een voorkomend probleem is bij alle inputkaarten van dit type. In het geval van het laatste zal de documentatie aangepast moeten worden.

4.4 S7 Test

Na contact te hebben gehad met Siemens konden zij ook bevestigen dat de maximale afwijking van de inputkaart overschreden werd. Meerdere oplossingen zijn geprobeerd maar niks werkte. Als laatste mogelijkheid is er een kort experiment gedaan met een S7. Hierbij werden de kaarten met een S7-master aangestuurd ipv met een TDC-master. De resultaten van deze zijn te zien in tabel 17.

Tabel 17: Resultaten S7 test

Verstuurd (dec)	Gemeten (dec)
12000	12000
15000	15000
24312	24311
6000	6002

Er is te zien dat de afwijking maximaal 2 bit bedraagt, ongeveer 1.4 μ A. De maximale afwijking wordt niet overschreden.

De 2 grote verschillen tussen de opstellingen van de 1^e testfase en de S7 test zijn:

- Een andere master (S7 ipv TDC).
- Screw-connectors ipv Siemens TOP-connect² connectors

Na het testen van de Siemens TOP-connectoren en bijbehorende aansluitblokken (TPA-blokken) bleken deze de afwijking te veroorzaken. Alle Siemens TOP-connectoren zijn daarom vervangen door screw-connectors, waarmee de bedrading direct op de kaarten wordt aangesloten.

Vervolgens is er een serie metingen uitgevoerd om te controleren of de inputkaart binnen de in de documentatie gestelde grenzen valt. De outputkaart is niet getest omdat deze naar aanleiding van de 1e testfase al binnen de gestelde eisen valt.

² <http://w3.siemens.com/mcmts/automation/en/automation-systems/system-cabling/simatic-top-connect/pages/default.aspx>

4.5 Inputkaart (2e testfase)

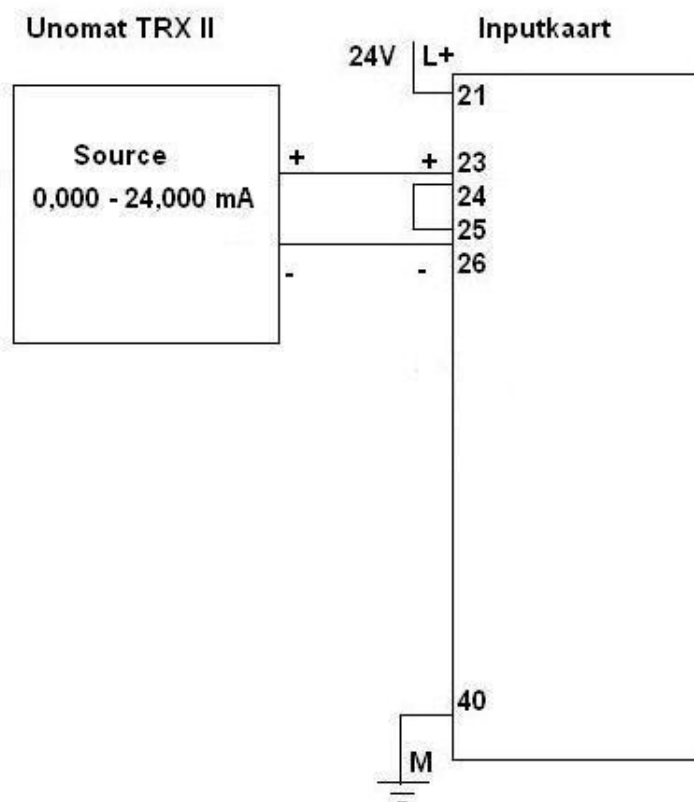
4.5.1 Gebruikte materialen

Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)
Bedradingsmethode: Siemens screw-connectors

4.5.2 Instellingen

De inputkaart is geconfigureerd op +/-20mA en 4 channel mode.
De Unomat is de source en de inputkaart het meetinstrument.

4.5.3 Opstelling

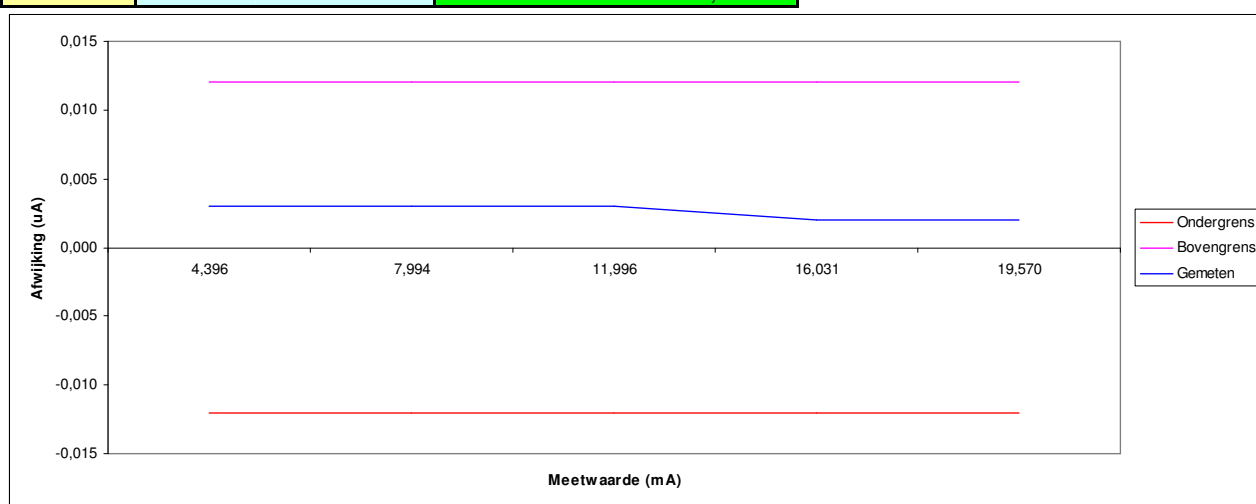


Figuur 38: Opstelling inputkaart

4.5.4 Metingen

Tabel 18: Meetresultaten inputkaart

Channel 0		
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,399
		4,399
		4,399
		4,399
		4,399
7,994	7,982 <-> 8,006	7,997
		7,996
		7,997
		7,997
		7,997
11,996	11,984 <-> 12,008	11,998
		11,999
		11,999
		11,999
		11,999
16,031	16,019 <-> 16,043	16,033
		16,033
		16,033
		16,033
		16,033
19,570	19,558 <-> 19,582	19,572
		19,571
		19,572
		19,571
		19,572



Figuur 39: Afwijking Inputkaart

4.5.5 Resultaten

Door het vervangen van de Siemens TOP-connectors voor screw-connectors is de afwijking verdwenen. De metingen vallen nu binnen de in de documentatie beschreven afwijking.

4.6 IO opstelling (2^e testfase)

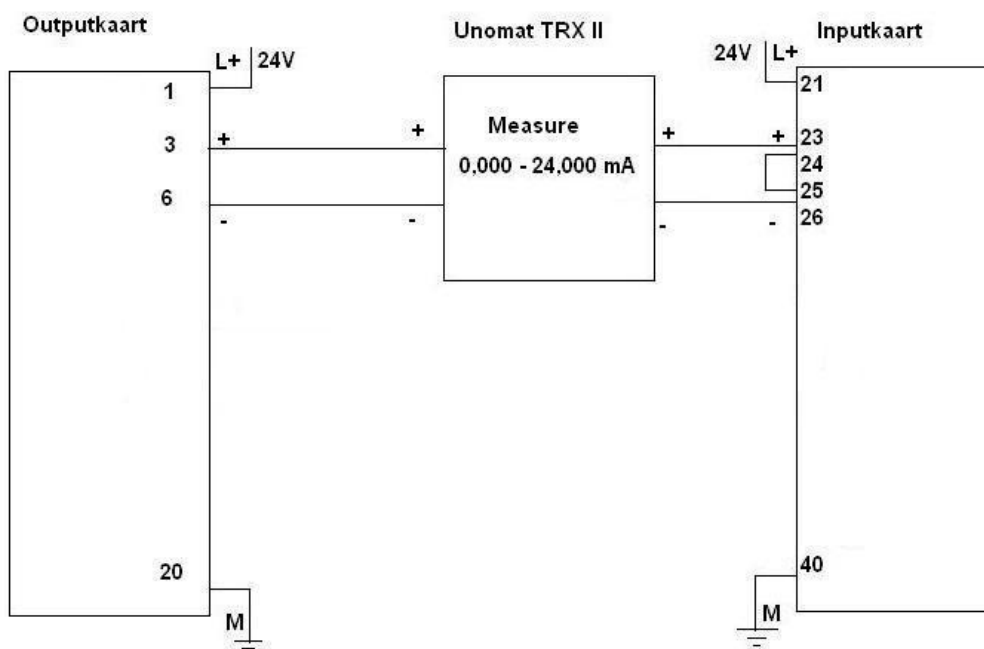
4.6.1 Gebruikte materialen

Outputkaart: 6ES7 332-7ND02-0AB0
Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)
Bedradingsmethode: Siemens screw-connectors

4.6.2 Instellingen

De inputkaart is geconfigureerd op +/-20mA en 4 channel mode.
De Unomat is de source en de inputkaart het meetinstrument.

4.6.3 Opstelling

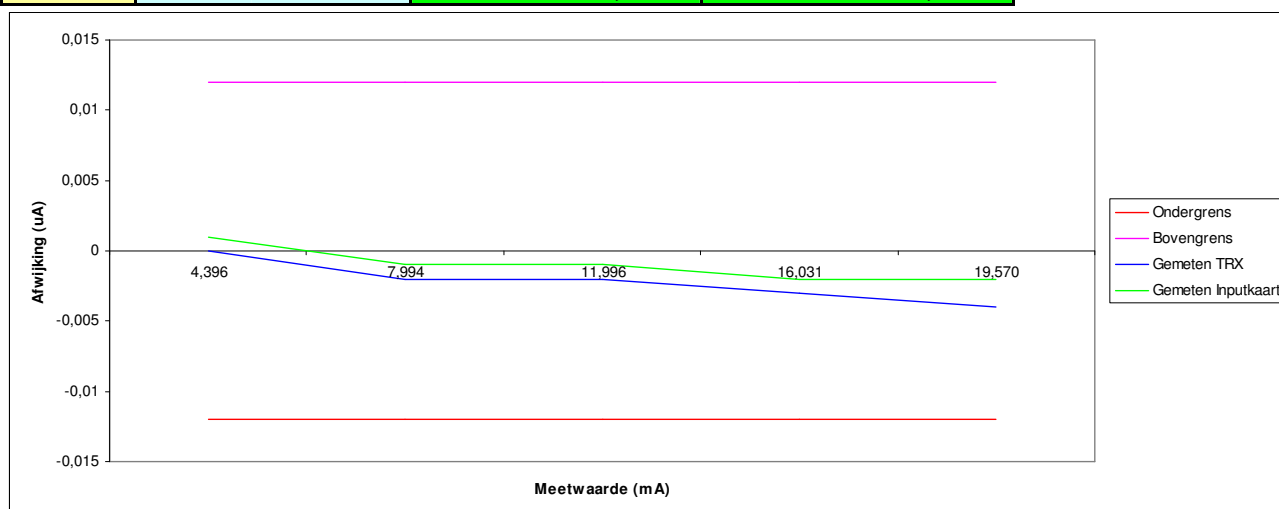


Figuur 40: Opstelling inputkaart

4.6.4 Metingen

Tabel 19: Meetresultaten inputkaart

Output channel 0/Input channel 2			
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten TRX (mA)	Gemeten inputkaart (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,396	4,397
		4,396	4,397
		4,396	4,397
		4,396	4,396
		4,396	4,397
7,994	7,982 <-> 8,006	7,992	7,993
		7,993	7,993
		7,992	7,993
		7,993	7,993
		7,992	7,993
11,996	11,984 <-> 12,008	11,994	11,995
		11,994	11,995
		11,994	11,995
		11,994	11,995
		11,994	11,995
16,031	16,019 <-> 16,043	16,028	16,029
		16,029	16,029
		16,028	16,029
		16,028	16,029
		16,028	16,029
19,570	19,558 <-> 19,582	19,566	19,568
		19,566	19,568
		19,566	19,568
		19,566	19,568
		19,567	19,568



Figuur 41: Afwijking inputkaart

4.6.5 Resultaten

Door het vervangen van de Siemens TOP-connectors voor screw-connectors is de afwijking verdwenen. De metingen vallen nu binnen de in de documentatie beschreven afwijking.

4.7 Complete meetopstelling

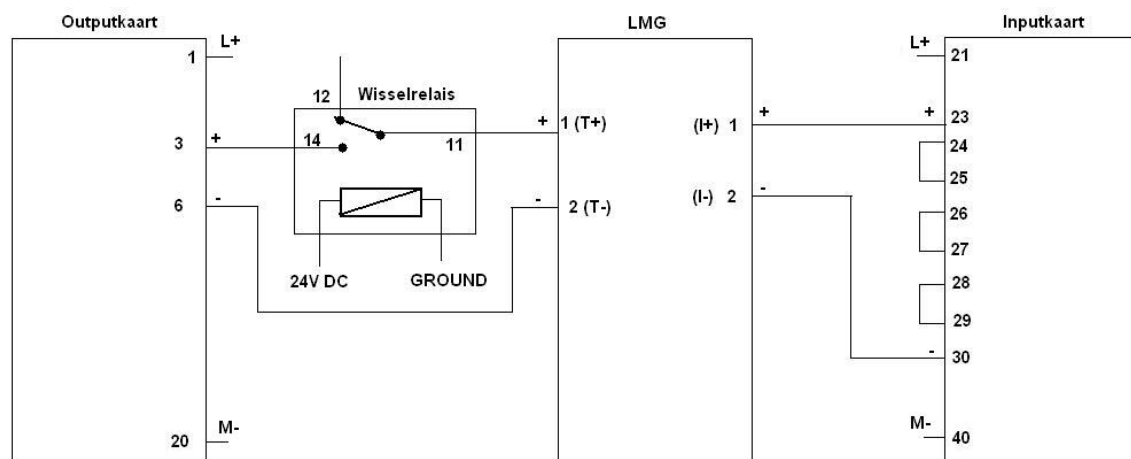
4.6.1 Gebruikte materialen

Outputkaart: 6ES7 332-7ND02-0AB0
Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0
Signaalomvormer: LANDMARK GRAPHIC
Bedradingsmethode: Siemens screw-connectors
Wisselrelais: art. nr. 2961121
IBA Analyzer - Report Generator

4.6.2 Instellingen

De outputkaart is geconfigureerd op $\pm 20\text{mA}$.
De inputkaart is geconfigureerd op $\pm 20\text{mA}$ en 4 channel mode.
De outputkaart is de source en de inputkaart het meetinstrument.

4.6.3 Opstelling



Figuur 42: Complete meetopstelling

4.6.4 Metingen

Kalibratieformulier Temperatuurmeting ET-1 Top.

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
4,397	4,375	4,425	4,395	1
			4,395	1
			4,395	1
			4,395	1
			4,395	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
7,994	7,973	8,027	7,994	1
			7,994	1
			7,994	1
			7,994	1
			7,994	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
11,997	11,971	12,029	11,995	1
			11,995	1
			11,995	1
			11,994	1
			11,995	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
16,032	15,968	16,032	15,994	1
			15,994	1
			15,994	1
			15,994	1
			15,994	1

Input (mA)	Ondergrens (mA)	Bovengrens (mA)	Output LMG (mA)	Voldoet
19,570	19,565	19,635	19,605	1
			19,605	1
			19,605	1
			19,605	1
			19,605	1

Gebruikte apparatuur: 6ES7 331-7NF10-0AB0
 6ES7 332-7ND02-0AB0

Figuur 43: Resultaten complete meetopstelling

5. Conclusie

Voor het afronden van de opdracht zijn verschillende onderdelen gemaakt. Uit het vooronderzoek zijn een inputkaart en een outputkaart naar voren gekomen die aan de gestelde eisen voldoen.

Aan de hand van de testresultaten is gebleken dat deze kaarten ook in de praktijk aan de gestelde eisen voldoen.

De gemaakte code met het SIMATIC softwarepakket kunnen eenvoudig aangepast en uitgebreid worden.

Het genereren en automatisch opslaan van een PDF is gerealiseerd. De lay-out en tabelindelingen zijn gemaakt en deze kunnen, indien gewenst, nog aangepast worden.

Er kan periodiek en zonder engineer automatisch een kalibratie certificaat gegenereerd en geborgd opgeslagen worden.

Aan de hand van de kosten/baten analyse kan bepaald worden dat de terugverdiëntijd minder dan 2 jaar bedraagt. De in dit document beschreven oplossing is een goed alternatief om op een redelijk korte termijn kosten te besparen.

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



6. Aanbevelingen

Aan de hand van de meetresultaten uit tabel 6 is de eerste stap die op korte termijn gemaakt kan worden het vervangen van de meetweerstand door diodes. Dit is een goedkope en snelle manier om de nauwkeurigheid van de metingen te vergroten.

De tweede stap die genomen moet worden voor volledige automatisering is het uitbreiden van de met SFC gemaakte flowcharts. Deze is op dit moment alleen voor ET-1 Top/Bot gemaakt. Aan te raden is per LMG een aparte SFC te maken. Dit betekent de volgende indeling:

Tabel 19: Indeling LMG's

LMG	Pyrometer
1	ET-1 Top
	ET-1 Bot
	ET-2 Top
	ET-2 Bot
2	T-oprol HOOG Top
	T-oprol HOOG Bot
	T-oprol LAAG Top
	T-oprol LAAG Bot
3	TV6-Top Noord
	TV6-Top Zuid
	TV6-Bot Top
	TV6-Bot Bot

De derde stap is het uitbreiden van de signalen en report generator in IBA Analyzer. De signalen en formules kunnen gekopieerd worden. De tabellen van de report generator kunnen gekopieerd en aangepast worden.

De laatste stap voor totale automatisering is het creëren van een geautomatiseerd rapport binnen iba.

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



7. Bronlijst

Figuur	Bron
1/2	Presentatie WB2 powerpoint
3	http://www.landinst.nl/
4	Kalibratiemappen MIT
5	http://www.landinst.com/
8	http://wiki.edu-lab.nl/
9	http://www.mindeplc.com
12	https://www.phoenixcontact.com/

Documentatie	Bron
PLC/Input/Output	http://w3.siemens.com/
	intranet Tatasteel
	Rekenbladen MIT
	Datasheet Unomat TRX II
	Datasheets Siemens S7-300

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



8. Verklarende woordenlijst

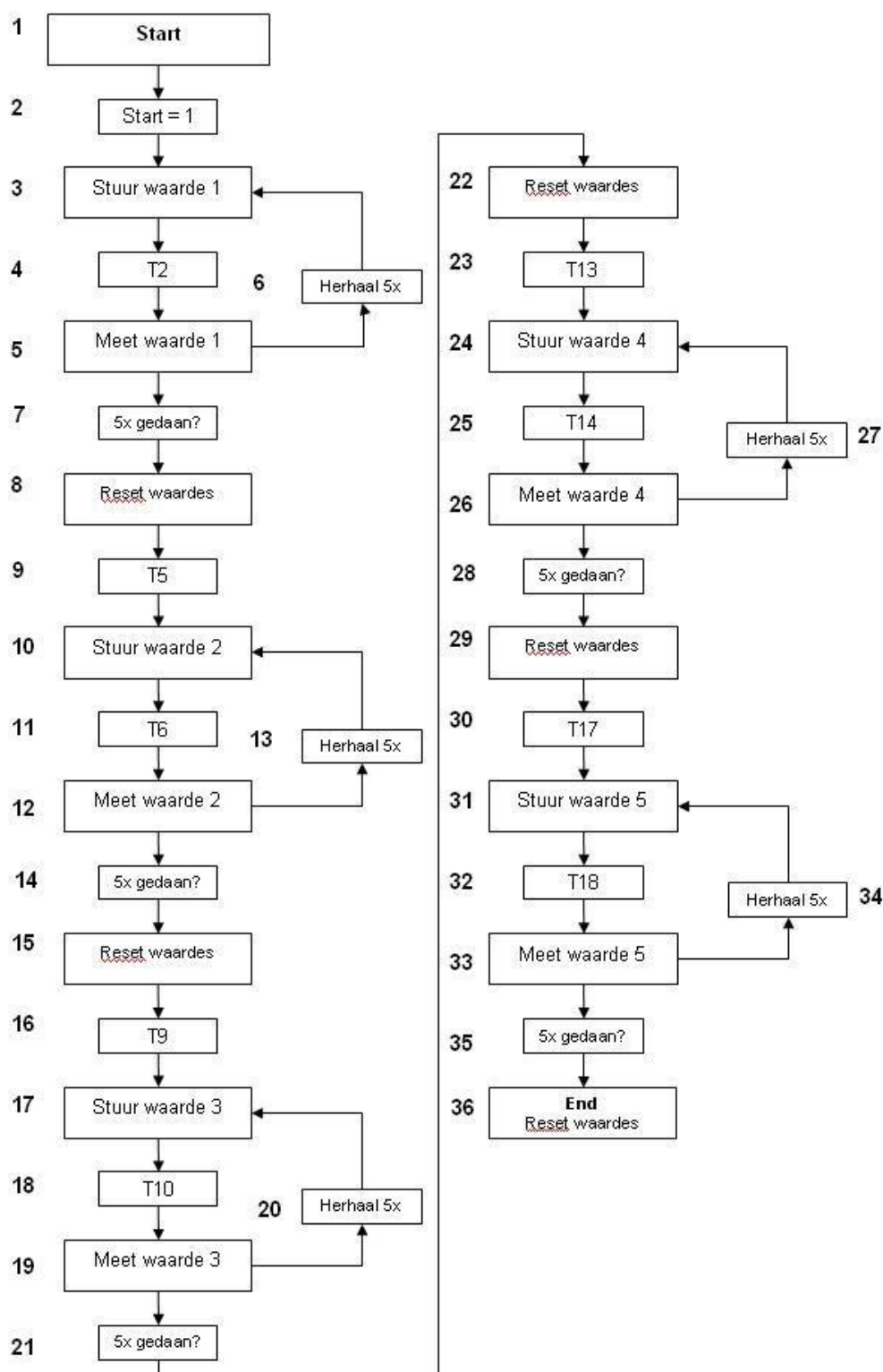
ET-1	Extra Temperatuurmeting 1
WB2	Warmbandwalserij 2
TDC	Master PLC systeem
ET200M	Slave PLC substation
SFC	Sequential Function Chart
CFC	Continuous Function Chart
IBA	Softwarepakket meten signalen
SIMATIC	Softwarepakket voor PLC programmeren
NERO	Centrale installatie besturingssysteem
Unomat TRX II	Draagbare multifunctionele kalibrator
LSB	Least Significant Bit
MSB	Most Significant Bit
TV6	Temperatuurmeting Voorwals 6

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



Bijlage I

Uitgebreide beschrijving flowchart



Stap Nr.	Stap Naam	Beschrijving	Signalen
1	Start	Initialisatie SFC	Counter reset = 1
			Counter timer enable = 0
			Wacht1 enable = 0
			Meet = 0
2	Transitie 1	Initialiseer meting 1	Start = 1
			&
			Counter = 0
3	Stuur1	Stuur waarde 1 (4,396mA)	Output = port 1 (0xBE17)
			Counter reset = 0
			Wacht1 enable = 1
			Counter timer enable = 1
			Wacht2 enable = 0
			Meet = 0
			Digital out = alle poorten activeren
4	Transitie 2	Wacht 500ms	Wacht1 output = 0
5	Meet1	Meet waarde 1	Counter timer enable = 0
			Wacht1 enable = 0
			Wacht2 enable = 1
			Meet = 1
6	Transitie 3	Herhaal stap 3-5 vijf keer	Counter <=4
			&
			Wacht2 output = 0
			Jump naar stap 3
7	Transitie 4	Meting 1 vijf keer uitgevoerd	Counter = 5
			&
			Wacht2 output = 0
8	Reset	Reset timers en counters	Counter reset = 1
			Counter timer enable = 1
			Meet = 0
9	Transitie 5	Initialiseer meting 2	Start = 1
			&
			Counter = 0
10	Stuur2	Stuur waarde 2 (7,994mA)	Output = port 2 (0x2B2B)
			Counter reset = 0
			Wacht1 enable = 1
			Counter timer enable = 1
			Wacht2 enable = 0
			Meet = 0

11	Transitie 6	Wacht 500ms	Wacht1 output = 0
12	Meet2	Meet waarde 2	Counter timer enable = 0 Wacht1 enable = 0 Wacht2 enable = 1 Meet = 1
13	Transitie 7	Herhaal stap 10-12 vijf keer	Counter <=4 & Wacht2 output = 0 Jump naar stap 10
14	Transitie 8	Meting 2 vijf keer uitgevoerd	Counter = 5 & Wacht2 output = 0
15	Reset	Reset timers en counters	Counter reset = 1 Counter timer enable = 1 Meet = 0
16	Transitie 9	Initialiseer meting 3	Start = 1 & Counter = 0
17	Stuur3	Stuur waarde 3 (11,996mA)	Output = port 3 (0xC840) Counter reset = 0 Wacht1 enable = 1 Counter timer enable = 1 Wacht2 enable = 0 Meet = 0
18	Transitie 10	Wacht 500ms	Wacht1 output = 0
19	Meet3	Meet waarde 3	Counter timer enable = 0 Wacht1 enable = 0 Wacht2 enable = 1 Meet = 1
20	Transitie 11	Herhaal stap 17-19 vijf keer	Counter <=4 & Wacht2 output = 0 Jump naar stap 10
21	Transitie 12	Meting 3 vijf keer uitgevoerd	Counter = 5 & Wacht2 output = 0

22	Reset	Reset timers en counters	Counter reset = 1
			Counter timer enable = 1
			Meet = 0
23	Transitie 13	Initialiseer meting 4	Start = 1
			&
			Counter = 0
24	Stuur4	Stuur waarde 4 (16,031mA)	Output = port 4 (0x9256)
			Counter reset = 0
			Wacht1 enable = 1
			Counter timer enable = 1
			Wacht2 enable = 0
			Meet = 0
25	Transitie 14	Wacht 500ms	Wacht1 output = 0
26	Meet4	Meet waarde 4	Counter timer enable = 0
			Wacht1 enable = 0
			Wacht2 enable = 1
			Meet = 1
27	Transitie 15	Herhaal stap 24-26 vijf keer	Counter <=4
			&
			Wacht2 output = 0
			Jump naar stap 10
28	Transitie 16	Meting 4 vijf keer uitgevoerd	Counter = 5
			&
			Wacht2 output = 0
29	Reset	Reset timers en counters	Counter reset = 1
			Counter timer enable = 1
			Meet = 0
30	Transitie 17	Initialiseer meting 5	Start = 1
			&
			Counter = 0
31	Stuur5	Stuur waarde 5 (19,570mA)	Output = port 5 (0xAE69)
			Counter reset = 0
			Wacht1 enable = 1
			Counter timer enable = 1
			Wacht2 enable = 0
			Meet = 0

32	Transitie 18	Wacht 500ms	Wacht1 output = 0
33	Meet5	Meet waarde 5	Counter timer enable = 0
			Wacht1 enable = 0
			Wacht2 enable = 1
			Meet = 1
34	Transitie 19	Herhaal stap 31-33 vijf keer	Counter <=4
			&
			Wacht2 output = 0
			Jump naar stap 10
35	Transitie 20	Meting 5 vijf keer uitgevoerd	Counter = 5
			&
			Wacht2 output = 0
36	End	Reset timers en counters	Output = port 6 (0x0000)
			Counter reset = 1
			Counter timer enable = 0
			Wacht1 enable = 0
			Wacht2 enable = 0
			Meet = 0
			Digital out = alle poorten deactiveren

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



Bijlage II

Kalibratierapport TRX



KALIBRATIECERTIFICAAT

Certificaat: 12540

Pagina 2 van 3

Kalibratie resultaten:

Aangeboden waarde	Bereik	Test resultaat	Abs. afw.	Toegestane afw.	Beoordeling
Input mA:					
4.000 mA	52	4.00 mA	-0.001 mA	0.0066 mA	Goed
8.000 mA	52	8.00 mA	-0.001 mA	0.007 mA	Goed
12.000 mA	52	12.00 mA	-0.001 mA	0.0074 mA	Goed
16.000 mA	52	16.00 mA	-0.001 mA	0.0078 mA	Goed
20.000 mA	52	20.00 mA	-0.001 mA	0.0082 mA	Goed
Input mV:					
1.0 mV	120	1 mV	-0.0 mV	0.0132 mV	Goed
50.0 mV	120	50 mV	-0.0 mV	0.023 mV	Goed
100.0 mV	120	100 mV	-0.0 mV	0.033 mV	Goed
Input V:					
6.0 V	120	6 V	-0.0 V	0.01 V	Goed
30.0 V	120	30 V	-0.0 V	0.022 V	Goed
60.0 V	120	60 V	-0.0 V	0.037 V	Goed
Input Ohms:					
1.000 Ω		1.01 Ω	0.010 Ω	0.01005 Ω	Goed
10.000 Ω		10.01 Ω	0.010 Ω	0.0105 Ω	Goed
100.000 Ω		100.01 Ω	0.010 Ω	0.015 Ω	Goed
350.000 Ω		350.02 Ω	0.020 Ω	0.0275 Ω	Goed
Input Pt100:					
-100.0 °C		-100 °C	-0.2 °C	0.28 °C	Goed
0.0 °C		-0 °C	-0.2 °C	0.28 °C	Goed
100.0 °C		100 °C	-0.2 °C	0.28 °C	Goed
800.0 °C		800 °C	-0.0 °C	0.28 °C	Goed
Input thermokoppel K:					
-100.00 °C	1300	-100.0 °C	0.00 °C	1.50 °C	Goed
0.00 °C	1300	-0.2 °C	-0.20 °C	1.50 °C	Goed
100.00 °C	1300	99.9 °C	-0.10 °C	1.50 °C	Goed
1000.00 °C	1300	999.9 °C	-0.10 °C	1.50 °C	Goed
Input thermokoppel J:					
-100.00 °C		-100.3 °C	-0.30 °C	1.40 °C	Goed
0.00 °C		-0.2 °C	-0.20 °C	1.40 °C	Goed
100.00 °C		99.8 °C	-0.20 °C	1.40 °C	Goed
1000.00 °C		1000.0 °C	0.00 °C	1.40 °C	Goed
Input thermokoppel T:					
-100.00 °C		-100.0 °C	0.00 °C	1.20 °C	Goed
0.00 °C		-0.3 °C	-0.30 °C	1.20 °C	Goed
100.00 °C		99.9 °C	-0.10 °C	1.20 °C	Goed
390.00 °C		389.9 °C	-0.10 °C	1.20 °C	Goed
Input thermokoppel S:					
100.00 °C		99.9 °C	-0.10 °C	2.30 °C	Goed
1000.00 °C		1000.0 °C	0.00 °C	2.30 °C	Goed
1500.00 °C		1500.5 °C	0.50 °C	2.30 °C	Goed
Output mA:					
4.00 mA	24	4.0 mA	0.00 mA	0.0062 mA	Goed
8.00 mA	24	8.0 mA	-0.00 mA	0.0066 mA	Goed
12.00 mA	24	12.0 mA	-0.00 mA	0.007 mA	Goed
16.00 mA	24	16.0 mA	-0.00 mA	0.0074 mA	Goed
20.00 mA	24	20.0 mA	-0.00 mA	0.0078 mA	Goed

Blanken Controls B.V.

Adress: Imbosweg 30, NL-7371 DD Loenen | Phone: +31 55 50 58 300 | Fax: +31 55 50 58 333 | E-mail: info@blanken.nl
 Certification: ISO 9001:2008 / ISO 14001:2008 / AEO-certified | Branche: Member of FHI | Trade Reg. No: 08075297

blanken.nl

Klant : TATA Steel Europe Warmband 2
Project : Van handmatige- naar geautomatiseerde meetkring kalibraties
Revisie : 1.0



Bijlage III

Meetrapport

Input/Outputkaarten Siemens



Opgesteld door: Joey Lubbers

1. Outputkaart

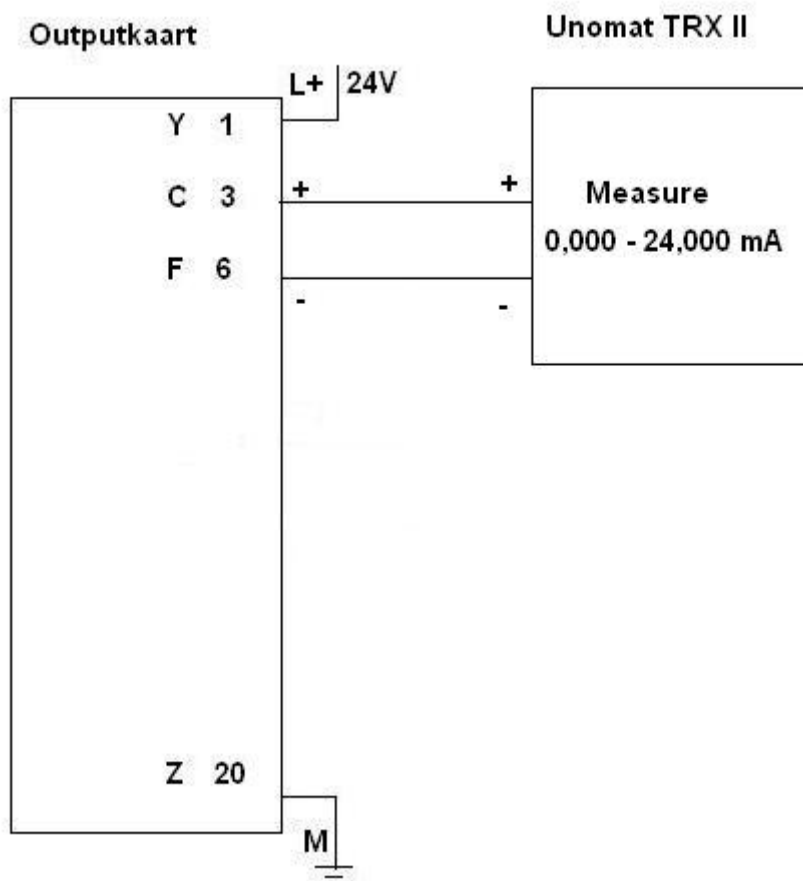
1.1 Gebruikte materialen

Outputkaart: 6ES7 332-7ND02-0AB0
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)

1.2 Instellingen

De outputkaart is geconfigureerd op +/- 20mA.
De outputkaart is de source en de Unomat is het meetinstrument.

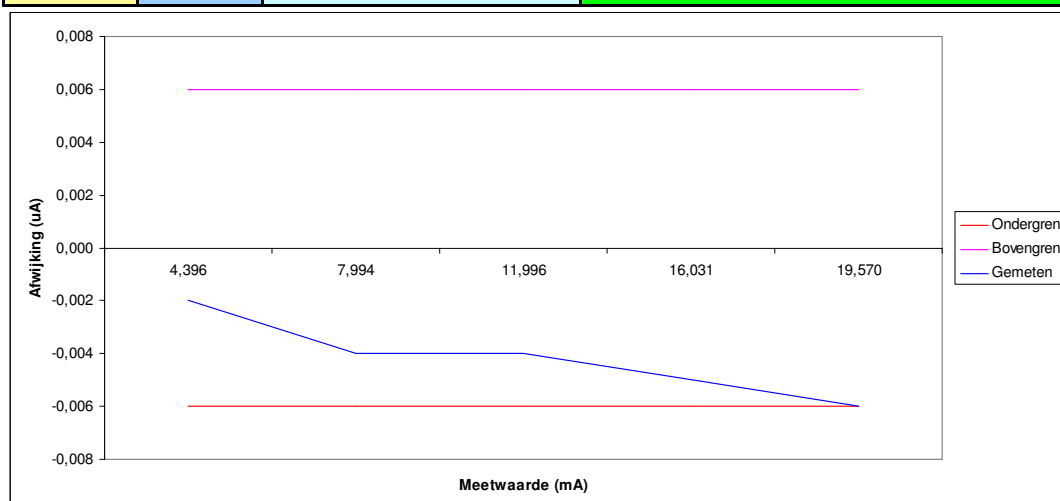
1.3 Opstelling



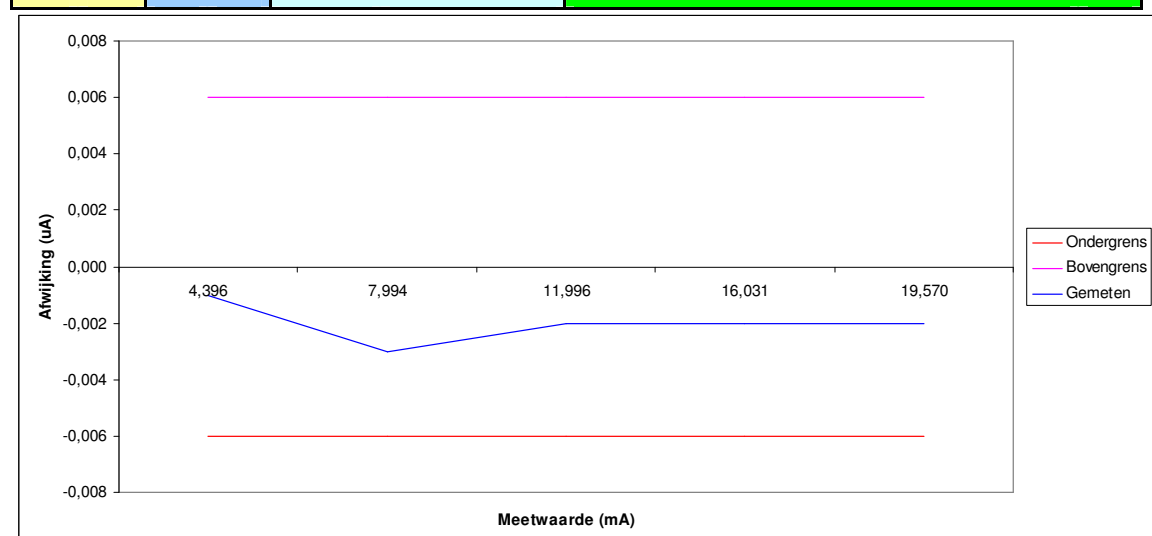
Alle kanalen zijn getest, en de kaart is aan de hand van de documentatie aangesloten.

1.4 Metingen

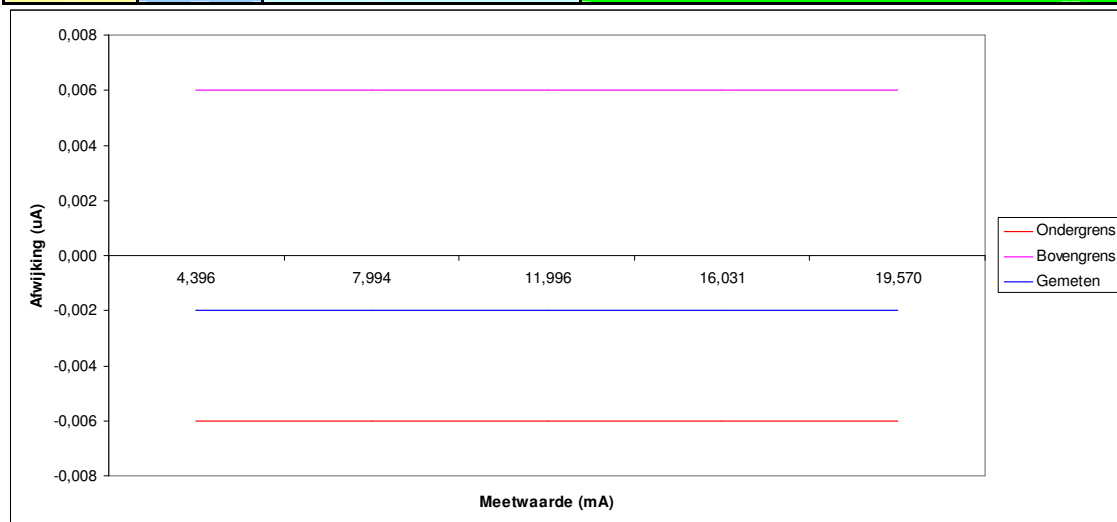
Channel 0			
Verstuurd (mA)	Hex	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	0x17BE	4,390 <-> 4,402	4,394
			4,394
			4,394
			4,394
			4,394
7,994	0x2B2B	7,988 <-> 8,000	7,990
			7,991
			7,990
			7,990
			7,990
11,996	0x40C8	11,990 <-> 12,002	11,992
			11,992
			11,993
			11,993
			11,993
16,031	0x5692	16,025 <-> 16,037	16,026
			16,027
			16,026
			16,027
			16,027
19,570	0x69AE	19,564 <-> 19,576	19,564
			19,565
			19,565
			19,565
			19,565



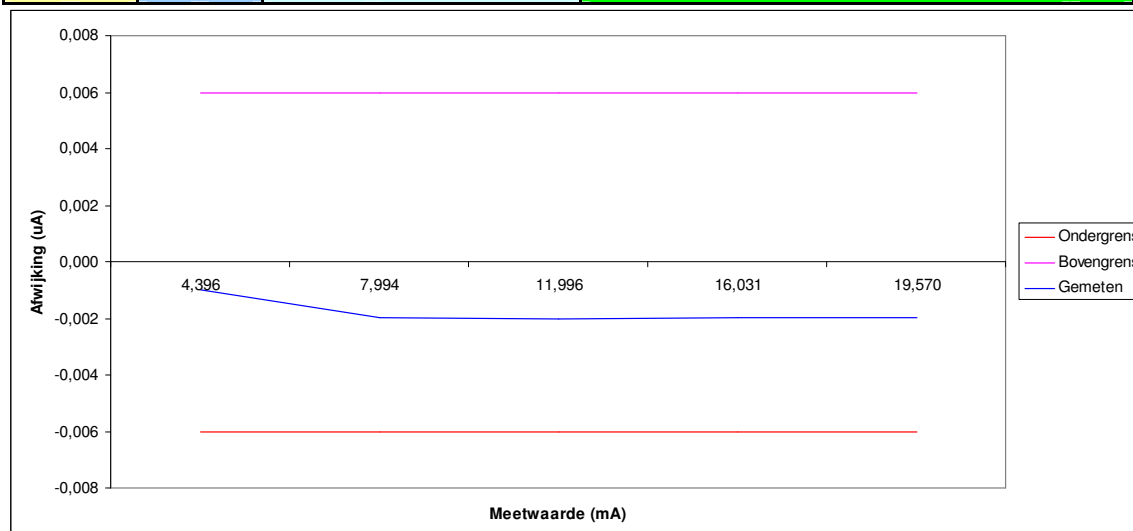
Channel 1			
Verstuurd (mA)	Hex	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	0x17BE	4,390 <-> 4,402	4,396
			4,395
			4,395
			4,395
			4,395
7,994	0x2B2B	7,988 <-> 8,000	7,992
			7,991
			7,992
			7,993
			7,992
11,996	0x40C8	11,990 <-> 12,002	11,994
			11,994
			11,995
			11,995
			11,994
16,031	0x5692	16,025 <-> 16,037	16,029
			16,029
			16,029
			16,030
			16,029
19,570	0x69AE	19,564 <-> 19,576	19,568
			19,568
			19,568
			19,568
			19,568



Channel 2			
Verstuurd (mA)	Hex	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	0x17BE	4,390 <-> 4,402	4,395
			4,395
			4,395
			4,394
			4,395
7,994	0x2B2B	7,988 <-> 8,000	7,992
			7,992
			7,992
			7,992
			7,992
11,996	0x40C8	11,990 <-> 12,002	11,994
			11,995
			11,995
			11,994
			11,995
16,031	0x5692	16,025 <-> 16,037	16,029
			16,029
			16,029
			16,029
			16,029
19,570	0x69AE	19,564 <-> 19,576	19,568
			19,568
			19,568
			19,568
			19,568



Channel 3			
Verstuurd (mA)	Hex	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	0x17BE	4,390 <-> 4,402	4,396
			4,395
			4,395
			4,395
			4,395
7,994	0x2B2B	7,988 <-> 8,000	7,992
			7,992
			7,992
			7,992
			7,992
11,996	0x40C8	11,990 <-> 12,002	11,994
			11,994
			11,994
			11,994
			11,994
16,031	0x5692	16,025 <-> 16,037	16,029
			16,029
			16,029
			16,029
			16,029
19,570	0x69AE	19,564 <-> 19,576	19,569
			19,568
			19,568
			19,568
			19,568



1.5 Resultaten

De outputkaart valt binnen de berekende afwijkingen zoals deze in de documentatie omschreven staan.

2. Inputkaart

2.1 Gebruikte materialen

Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0

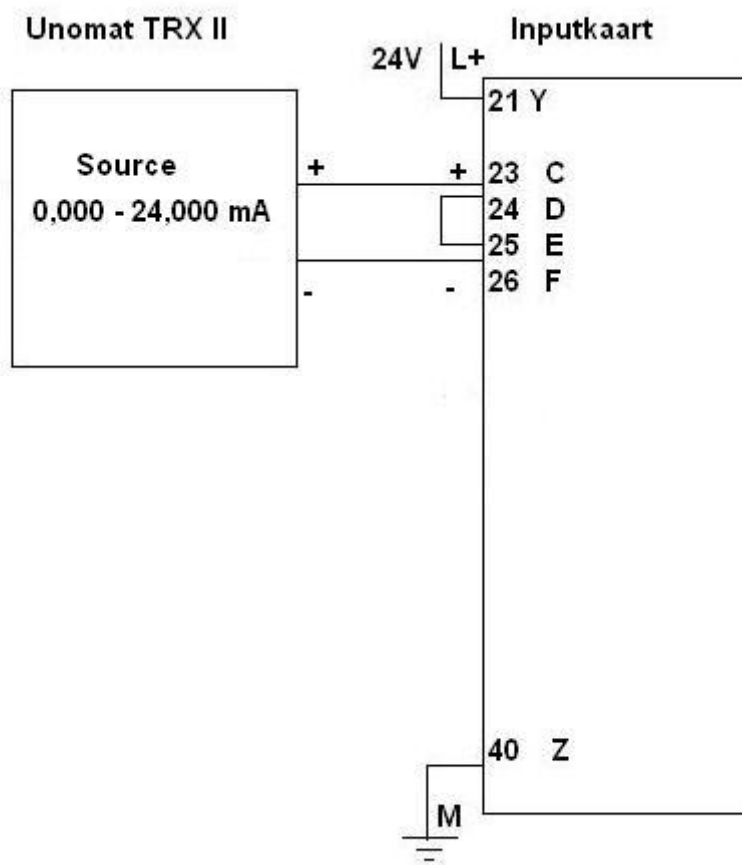
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)

2.2 Instellingen

Bij de eerste meting is de inputkaart is geconfigureerd op 4..20mA en 4 channel mode.
Bij de tweede meting is de inputkaart geconfigureerd op +/-20mA en 4 channel mode.

De Unomat is de source en de inputkaart het meetinstrument.

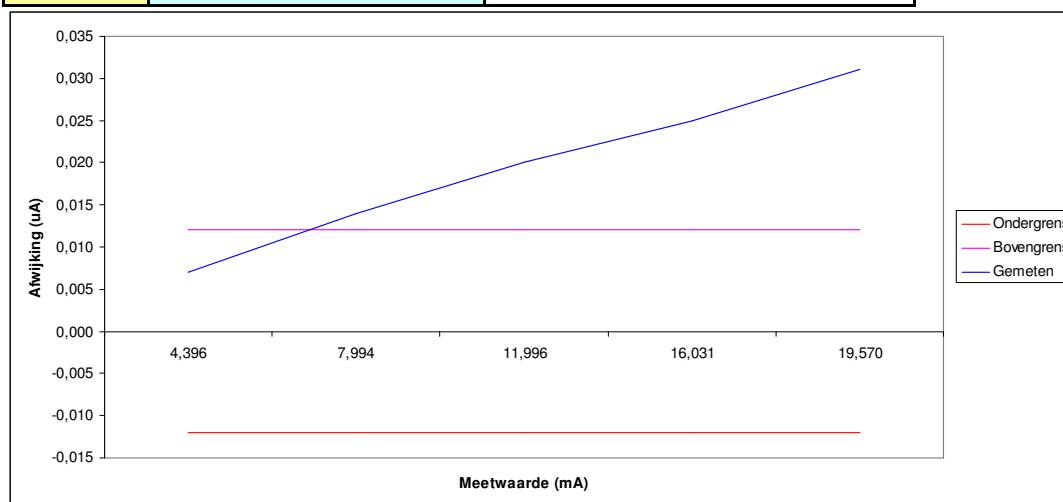
2.3 Opstelling



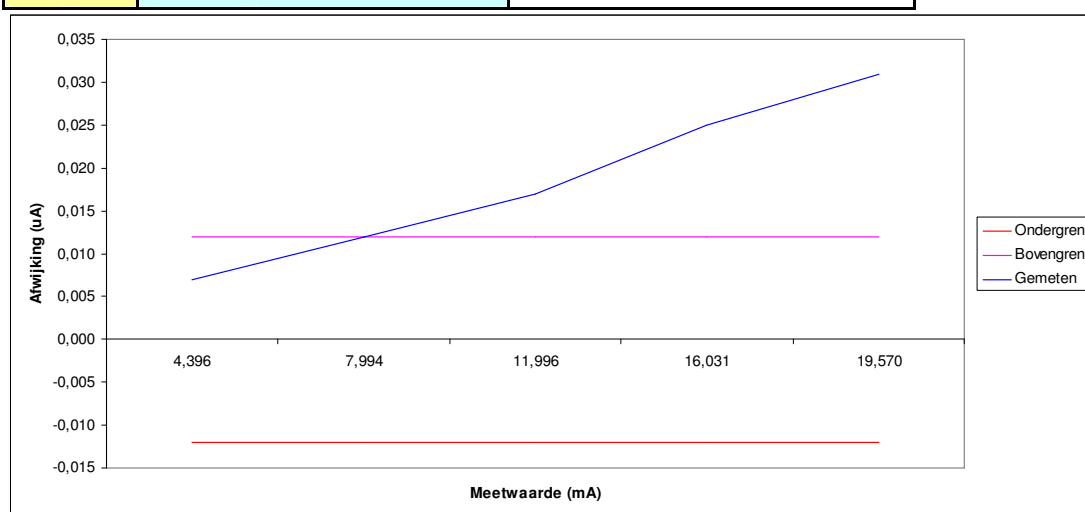
Kanaal 2 en 3 zijn getest, en de kaart is aan de hand van de documentatie aangesloten.

2.4 Metingen

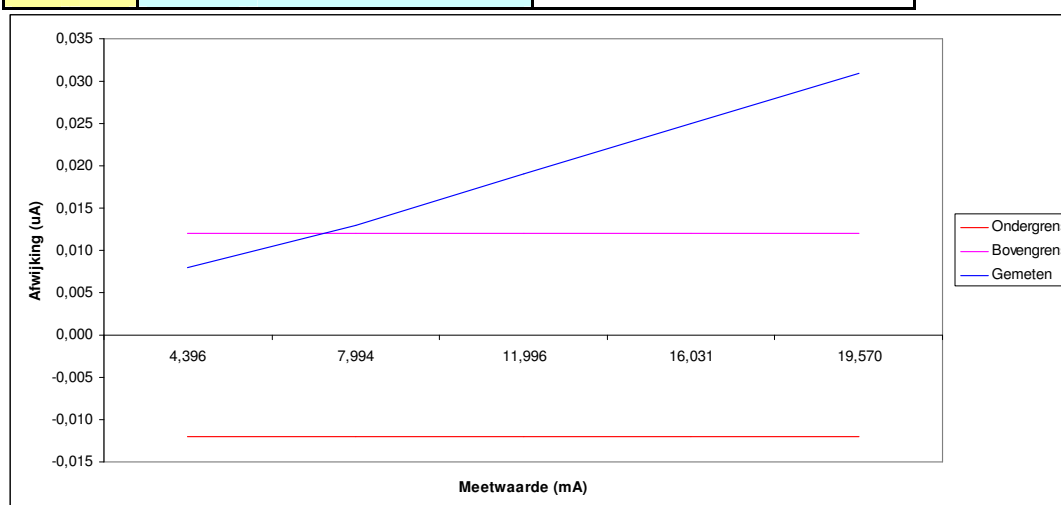
Meting 1, Channel 2		
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,403
		4,403
7,994	7,982 <-> 8,006	8,008
		8,008
11,996	11,984 <-> 12,008	12,016
		12,015
16,031	16,019 <-> 16,043	16,056
		16,056
19,570	19,558 <-> 19,582	19,601
		19,600



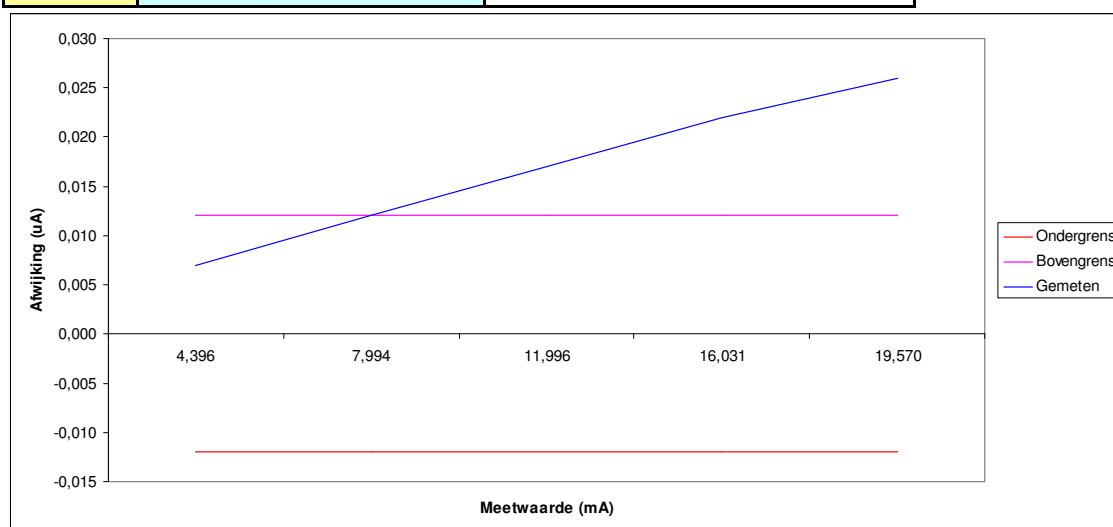
Meting 1, Channel 3		
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	4,384 <=> 4,408	4,403
		4,403
7,994	7,982 <=> 8,006	8,006
		8,005
11,996	11,984 <=> 12,008	12,013
		12,013
16,031	16,019 <=> 16,043	16,056
		16,056
19,570	19,558 <=> 19,582	19,601
		19,600



Meting 2, Channel 2		
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,404
		4,404
7,994	7,982 <-> 8,006	8,007
		8,007
11,996	11,984 <-> 12,008	12,015
		12,015
16,031	16,019 <-> 16,043	16,056
		16,056
19,570	19,558 <-> 19,582	19,601
		19,601



Meting 2, Channel 3		
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,403
		4,403
7,994	7,982 <-> 8,006	8,006
		8,006
11,996	11,984 <-> 12,008	12,013
		12,013
16,031	16,019 <-> 16,043	16,053
		16,053
19,570	19,558 <-> 19,582	19,596
		19,596



2.5 Resultaten

De inputkaart overschrijdt zijn maximale afwijking van $12\mu\text{A}$ vanaf de meting van $11,996\text{mA}$. Deze overschrijding neemt toe naarmate de stroom toeneemt, tot een afwijking van $31\mu\text{A}$ bij een ingestuurde waarde van $19,570\text{mA}$.

3. Complete opstelling

3.1 Gebruikte materialen

Outputkaart: 6ES7 332-7ND02-0AB0

Inputkaart: 6ES7 331-7NF10-0AB0

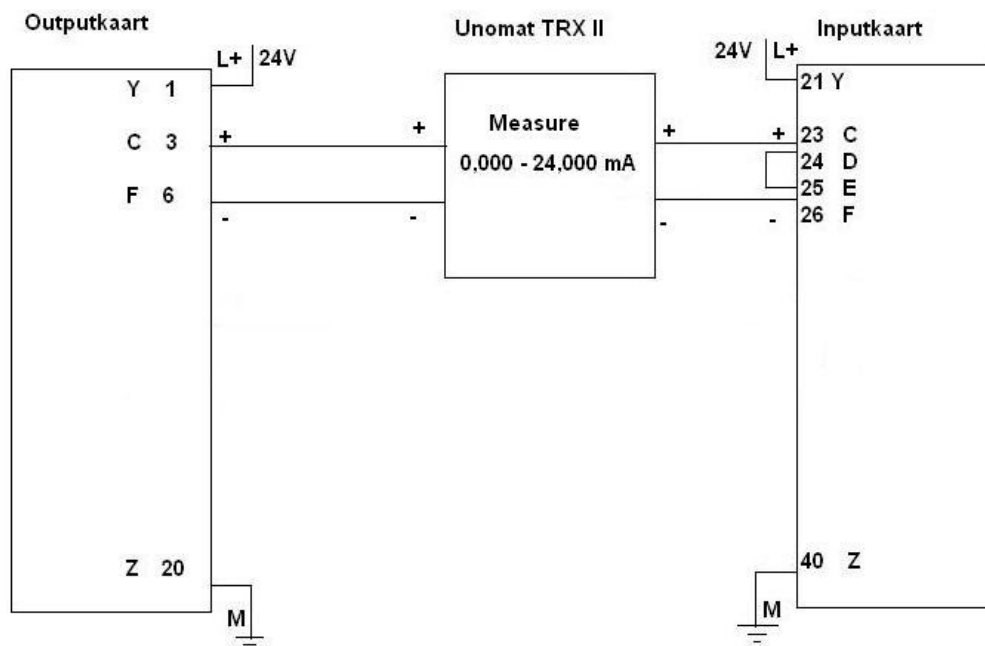
Meetinstrument: Unomat TRX II (WB2-EID 0.05)

3.2 Instellingen

De outputkaart en de inputkaart zijn geconfigureerd op $\pm 20\text{mA}$.

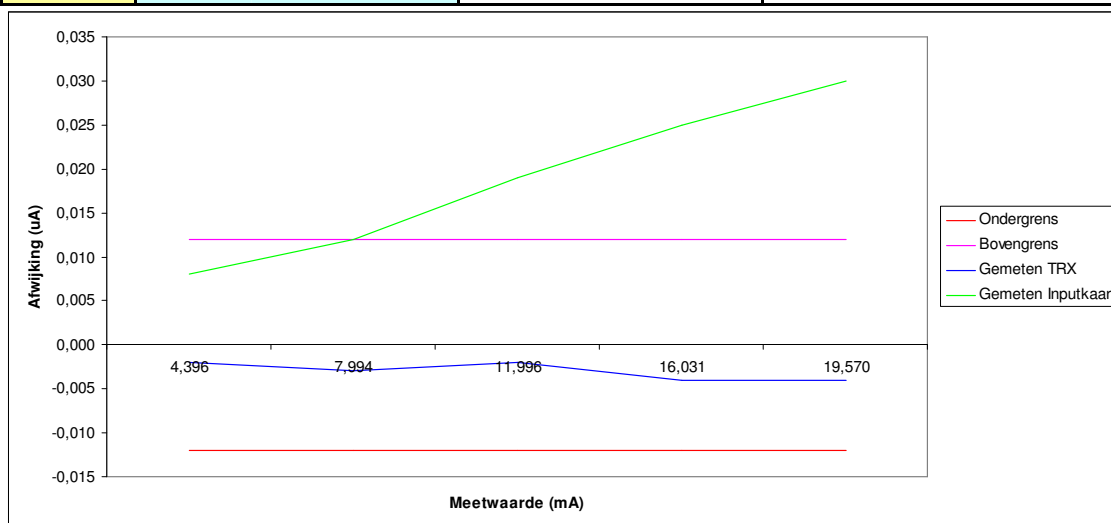
De outputkaart is de source, de Unomat en de inputkaart zijn de meetinstrumenten.

3.3 Opstelling

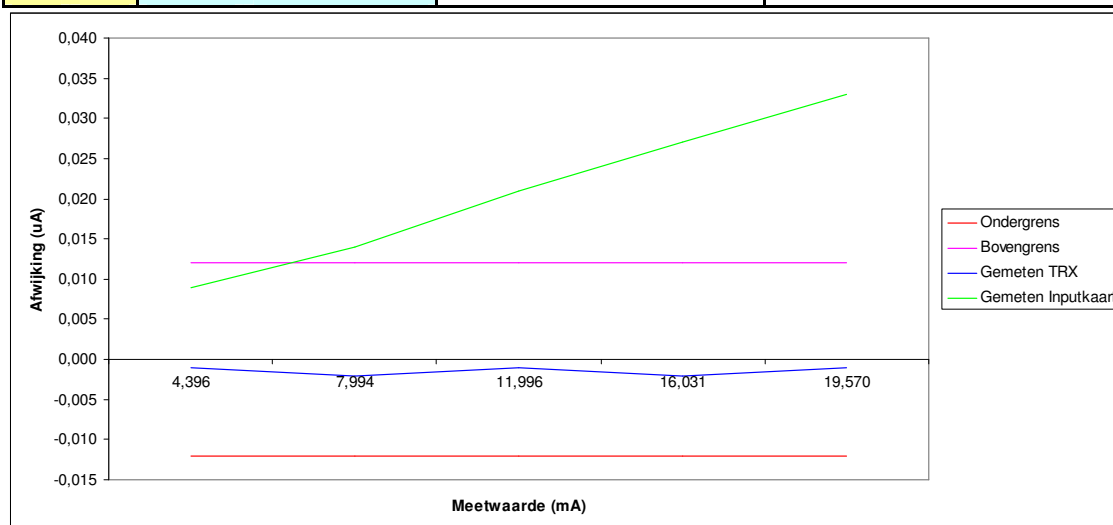


3.4 Metingen

Output channel 0/Input channel 2			
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten TRX (mA)	Gemeten inputkaart (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,395	4,404
		4,394	4,404
7,994	7,982 <-> 8,006	7,991	8,006
		7,992	8,006
11,996	11,984 <-> 12,008	11,994	12,015
		11,994	12,015
16,031	16,019 <-> 16,043	16,028	16,056
		16,027	16,056
19,570	19,558 <-> 19,582	19,566	19,600
		19,566	19,600



Output channel 1/Input channel 2			
Verstuurd (mA)	Verwacht (mA)	Gemeten TRX (mA)	Gemeten inputkaart (mA)
4,396	4,384 <-> 4,408	4,396	4,405
		4,395	4,405
7,994	7,982 <-> 8,006	7,992	8,007
		7,993	8,008
11,996	11,984 <-> 12,008	11,995	12,017
		11,995	12,017
16,031	16,019 <-> 16,043	16,029	16,058
		16,030	16,058
19,570	19,558 <-> 19,582	19,569	19,603
		19,569	19,603



3.5 Resultaten

Wederom heeft de inputkaart een afwijking die groter is dan de in de documentatie gegeven afwijking.

4. Conclusie

De in de documentatie gegeven afwijking wordt bij de inputkaart overschreden. Op basis van de meetresultaten kan gesteld worden dat de inputkaart niet voldoet. Er moet getest worden of dit een enkel incident is of dat dit een voorkomend probleem is bij alle inputkaarten van dit type. In het geval van het laatste zal de documentatie aangepast moeten worden.