



Version 03-01-2023

## Vejeceller

Vejeceller i badevægte eller til at måle vægten på en silo, fx er ret udbredt i dag.

Der findes et hav:



Tekemas  
Revere Vejeceller &...



Nordisk Transducer Tek...  
MONTERING, vejecell...



Nordisk Transducer Tek...  
MONTERING, vejecell...



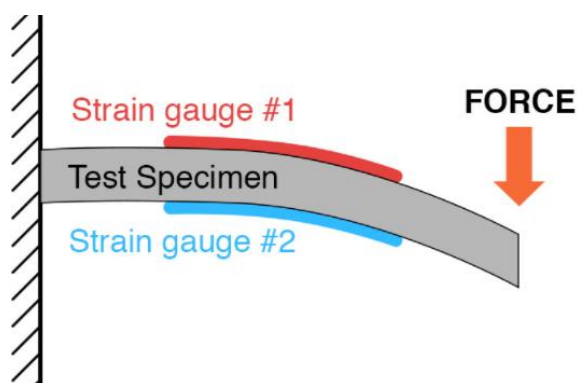
Tekemas  
Revere Vejeceller &...



Tekemas



( søgt på ” Silo Vejecelle ” )



Princippet er, at man monterer en Strain Gauge på et materiale, Jern eller Alu, der bøjer, når den påvirkes af en kraft.

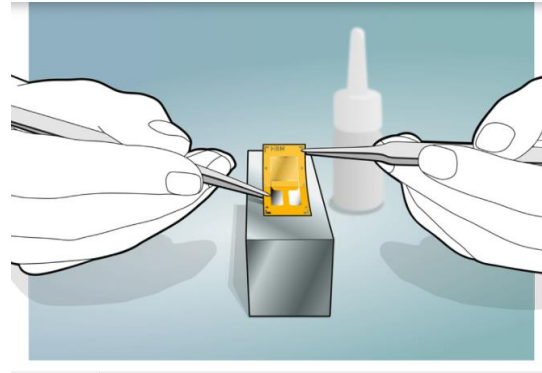
Herved vil en pålimet Strain Gauge blive enten forlænget eller forkortet.

Og fordi den har en vis modstand i hvile, vil denne modstand ændres. Ikke meget, ganske vist, måske under 1 % ???



Her limes en Strain Gauge på et materiale.

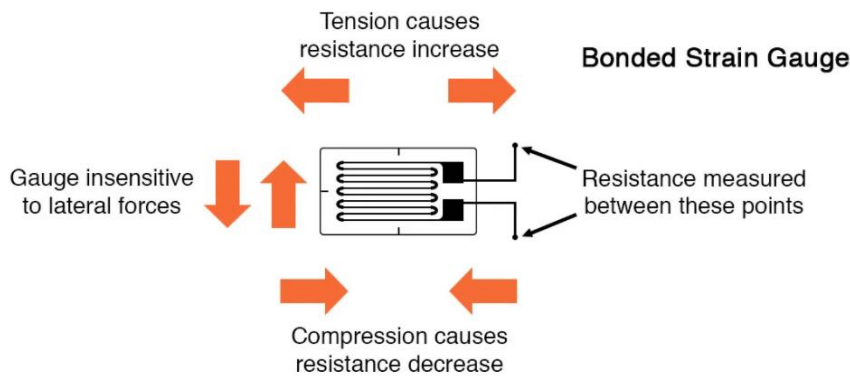
Strain gauge [ Strain gaitch ]



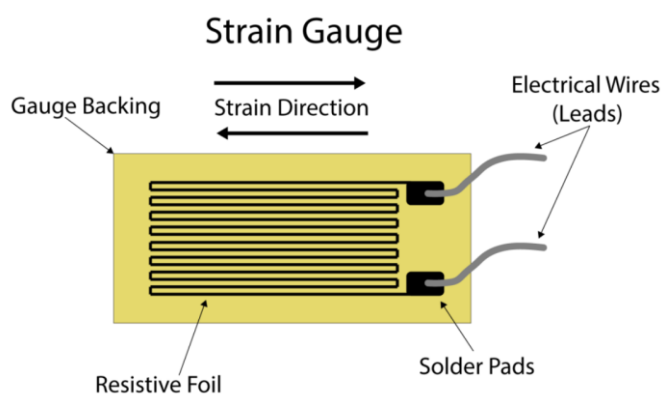
A device for indicating the strain of a material or structure at the point of attachment.

På dansk: Belastningsmåler

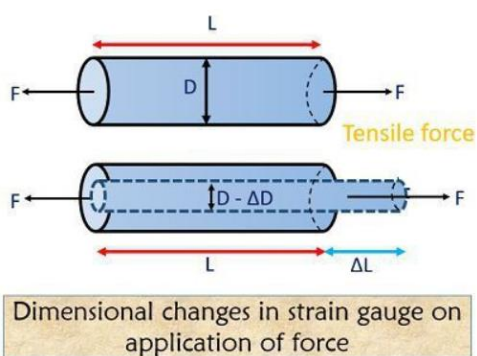
Fra: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells/all>



Fra: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>



En strain Gauge består af et modstands-materiale på en film. Når filmen strækkes eller presses sammen, giver det en lille ændring i dens ohmske værdi!!



Selv en tråd vil ændre dens ohmske værdi hvis den trækkes – så den fjedrer

**Gauge factor (GF)** or **strain factor** of a strain gauge is the ratio of relative change in electrical resistance  $R$ , to the mechanical strain  $\epsilon$ .

The gauge factor is defined as:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

Den ideelle belastningssensor ville kun ændre modstand på grund af deformationerne af overfladen, som sensoren er fastgjort til. I virkelige applikationer påvirker temperatur, materialeegenskaber, klæbemidlet, der binder måleren til overfladen, og metallets stabilitet imidlertid alle den detekterede modstand.

Når en Strain Gauge påvirkes af en kraft, ændres dens modstand, men kun meget lidt. Meget få procent.

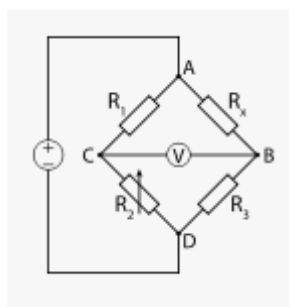
Eks. Hvis modstanden i hvile er 120 Ohm, kan en påvirkning af den være så lidt som 0,12 Ohm. Det er 0,1 %

Det er ret svært at måle. Derfor er man nødt til at lave en opstilling, et kredsløb, så det bliver lettere.

Hertil bruges en Wheatstones Bro

I har sikkert prøvet at lave fysikøvelser og brugt en Wheatstone Bro.

Typisk tegnes den sådan:



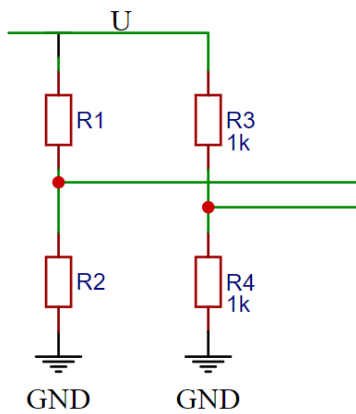
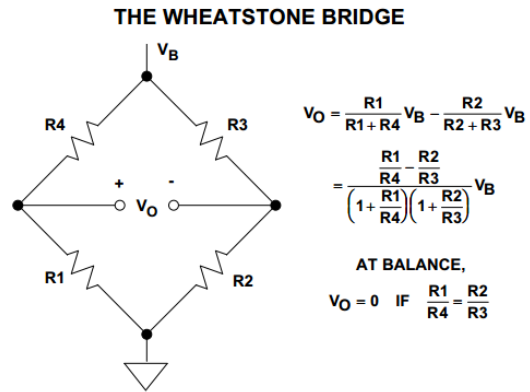
En Wheatstonebro eller Wheatstones bro er et klassisk, præcist måleinstrument, der bl.a. anvendes til at måle resistansværdier.



Broer er et attraktivt alternativ til måling af små modstandsændringer  
Den grundlæggende Wheatstone-bro er vist her.

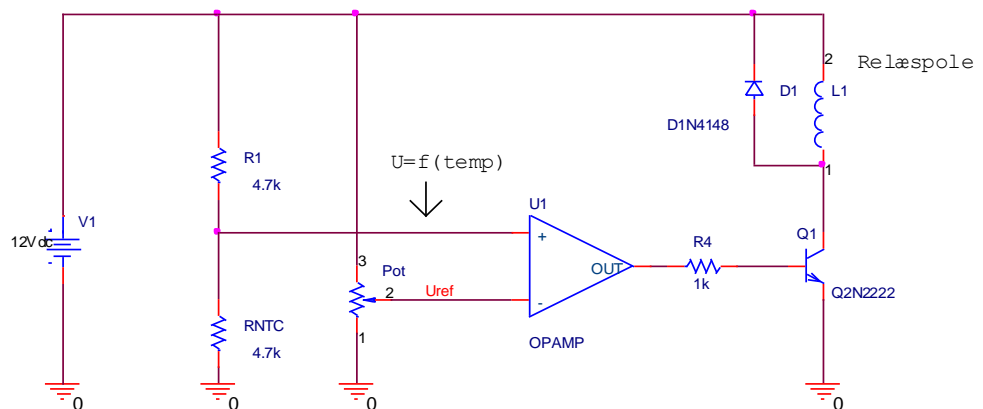
Den består af fire modstande forbundet til dannelse af en firkant, en spændingskilde forbundet over en af diagonalerne og en spændingsdetektor forbundet over den anden diagonal.

Detektoren måler forskellen mellem udgangene fra to spændingsdelere, der er forbundet over excitationen.



Men det er i min verden ser en Wheatstone bro således ud:

Eksempel på brug af en Wheatstone bro:



Spændingsdeleren R1 og R<sub>NTC</sub> giver en spænding, der er en funktion af temperaturen.

Spændingsdelerformlen er i dette tilfælde: 
$$U_{out} = U_{Påtrykt} \cdot \frac{R_{NTC}}{R_1 + R_{NTC}}$$

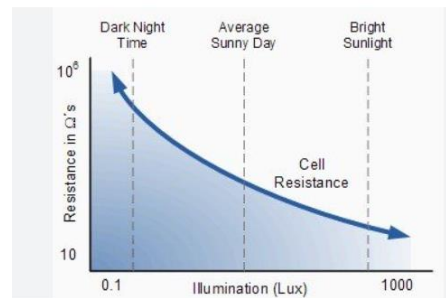
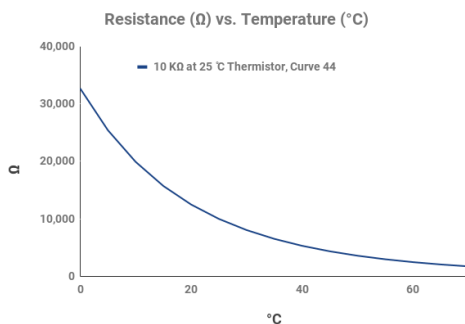


NTC-modstanden har negativ temperaturkoefficient, dvs. dens modstand falder ved stigende temperatur. Dvs. at brøken  $\frac{R_{NTC}}{R_1 + R_{NTC}}$  er temperaturafhængig. I matematikken ville den hedde

$$\frac{x}{k+x} . \text{ For stigende temperatur vil } x \text{ gå imod } 0. \text{ Dvs. brøken går imod } \frac{0}{k+0} \rightarrow 0$$

Altså vil spændingen falde ved stigende temperaturer. Når spændingen kommer under den indstillede  $U_{ref}$ , slår relæet fra.

Ps: Ulinearitet: Fordi  $R_{NTC}$  optræder både i tæller og nævner  
Modstanden



Bro med Opamp og NTC her

Ulineært signal !!

Wheatstonebroen blev opfundet af briterne Samuel Hunter Christie i 1833 og forbedret af Sir Charles Wheatstone i 1843.

Målemetoden med en Wheatstonebro kan virke gammeldags, men den er stadig ikke gået af mode. Wheatstonebroen anvendes, når yderst præcise målinger er nødvendige - og indeni små specialiserede sensorkredse som fx strain gauge-målekredsløb.

### Lidt matematik på spændingsdeler:

Her følger lidt teori om en wheatstone bro.

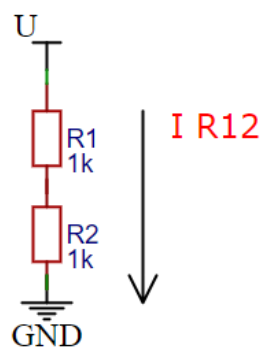
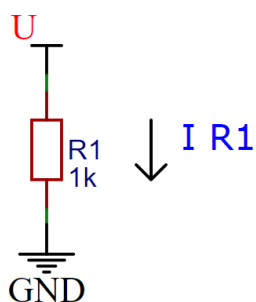
Men der findes en masse info på nettet, se fx:

<https://ebits.dk/blogs/viden/spaendingsdeler> Eller YouTube af Ellekrog ( 10:17 ):

[https://www.youtube.com/watch?v=p5vkm6EZ5uE&ab\\_channel=ellekrog](https://www.youtube.com/watch?v=p5vkm6EZ5uE&ab_channel=ellekrog)

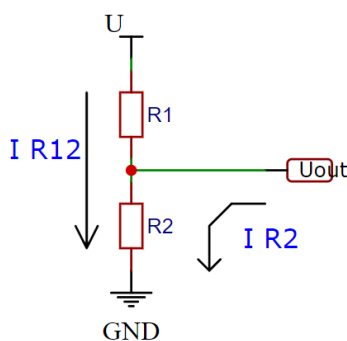
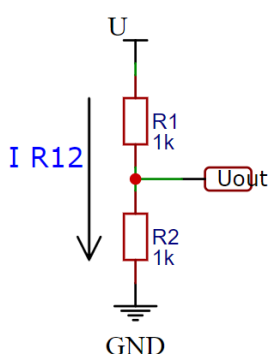


Formel for strømmen igennem en enkel modstand



Her adderes de to modsstande!

Hvis der er ens modstandsværdier, vil  $U_{out}$  være .....



Udledning af formel af spændingsdeler-formlen:

$$U_{out} = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Hvis der er to strainingauges på et vejeelement, placeres de så den ene modstand bliver større, og den anden mindre.

Hvis den ubelastede Strainingauge modstand er 100 Ohm fås:

$$U_{out} = U \cdot \frac{100 + 0}{100 + 0 + 100 - 0} = U \cdot \frac{100}{200}$$

Ved en ændring , fx på 5 Ohm fås:

$$U_{out} = U \cdot \frac{100 + 5}{100 + 5 + 100 - 5} = U \cdot \frac{105}{200}$$



$$U_{out} = U \left( \frac{100+x}{200} \right) \text{ Er det en ret linje ??}$$

Parentesen kan omformes til:

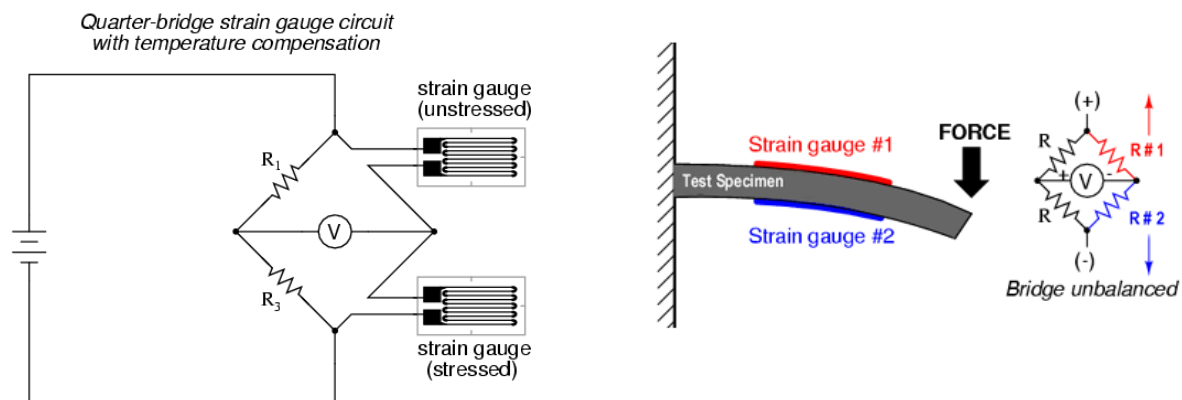
$$\frac{100}{200} + \frac{x}{200} \text{ og videre til } \frac{1}{200} x + \frac{1}{2}$$

Altså

$$U_{out}(x) = U \left( \frac{1}{200} x + \frac{1}{2} \right)$$

Altså en ret linje.

Men der kan stadig være ulinearitet i selve vejecellen, idet det jo ikke er sikkert, at metalllets bøjning er retlinjet.

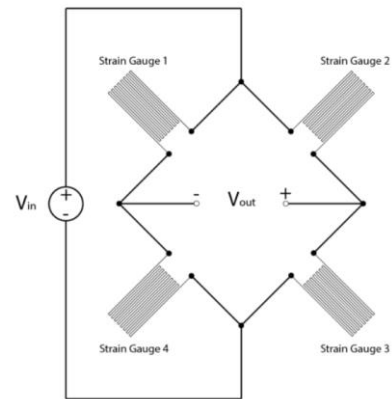


Kilde: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>

De vejeceller, vi kommer til at arbejde med er opbygget som flg.  
Forklar hvori temperturkompenseringen ligger !!

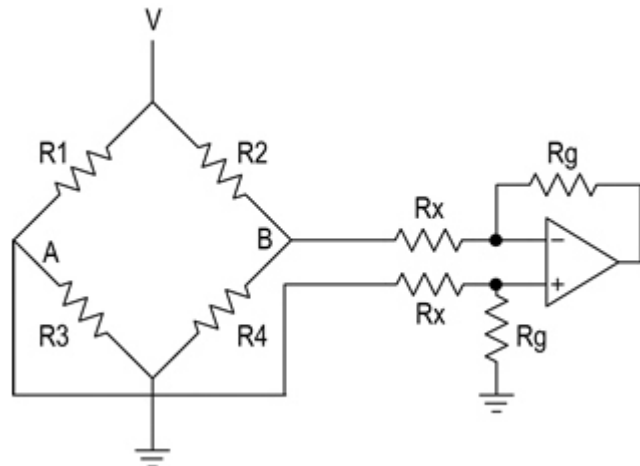


Her er vist en bro hvor alle 4 modstande består af variable modstande.

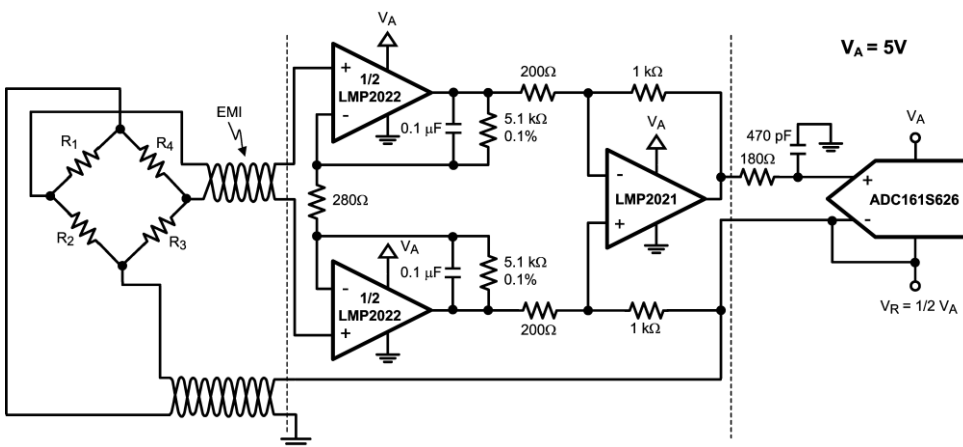


Her er der monteret en differensforstærker !!

Den er indbygget i vores HX711 board !



## Signal Conditioning



Forstærkerkredsløbet er ret kompleks, - og det skal vi ikke arbejde med her !!

Bemærk: de snoede ledninger giver beskyttelse mod elektromagnetisk indstråling

Kilde: <http://www.national.com/images/pf/LMP2021/30014972.pdf>



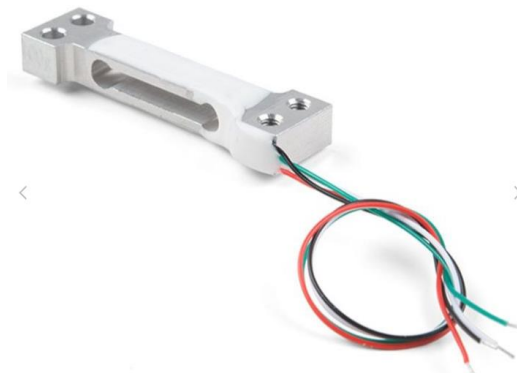


## Vejeceller:

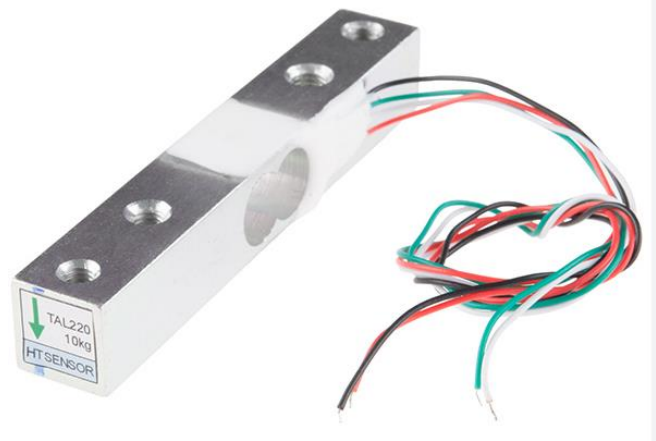
Hvordan ser små vejeceller så ud i praksis:  
??

Vejeceller fås i forskellige udformninger, og med forskellige maksimale belastninger:

Her er vist nogle små:

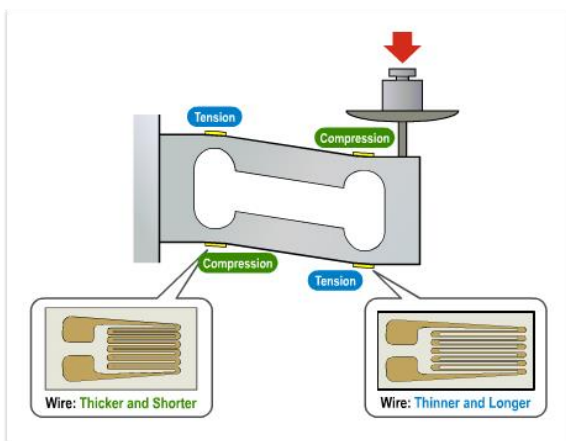


Max 100 Gram  
( [Arduinoshoppen.dk](http://Arduinoshoppen.dk) )



Max belastning: 10 kg

## Vejecelle-princip:



Den specielle opbygning af en vejecelle gør, at det altid vil være et lodret tryk, de skal påvirkes med.

Trapez -form ?? Parallelogram ?

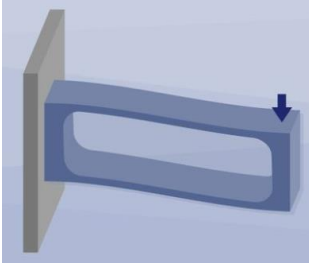
Fra:

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells/all>

Her er vist et billede hvor der er monteret 4 separate Strain Gauges.

Dvs. alle 4 modstande i wheatstone broen er udført af Strain Gauges.

Her følger et par billeder, der viser bevægelserne i metallet, hvordan metallet stresses, mm.



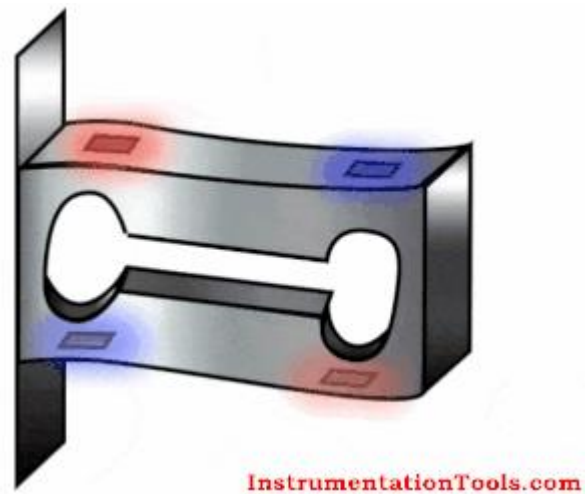
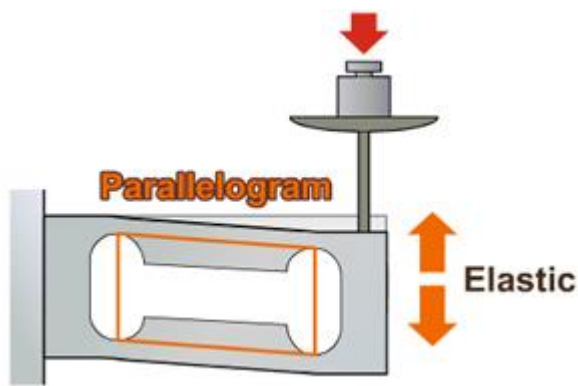
Double bending Beam Load cell

Den måde, vejecellen er konstrueret på, gør, at den bevæger sig som et parallelogram.

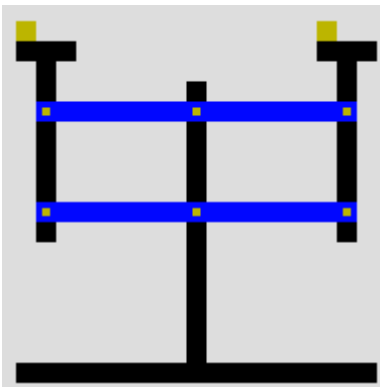
Det er også vist i de følgende billeder !!

Klik, hvis animationen går i stå !!

Fra <https://instrumentationtools.com/load-cell-working-principle/>



Det er samme princip, der bruges i balancevægte.  
Princippet kaldes for en Roberval mekanisme.



Roberval mechanism

Roberval Balance

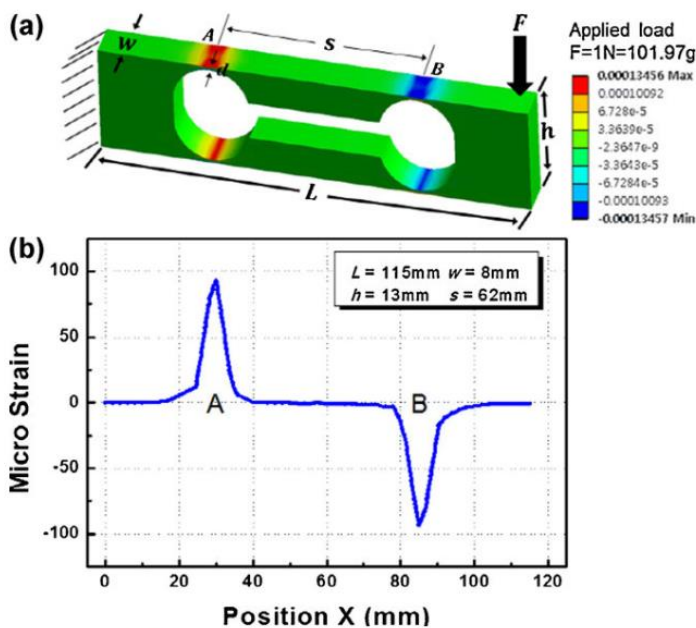
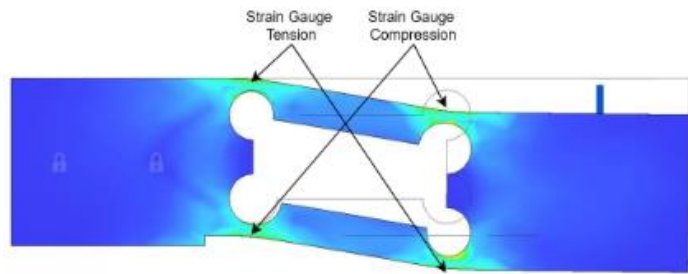
<https://www.anyload.com/load-cell-force-transducer-how-it-works/>



Et par billeder, der viser stress i materialet !!

Kilde [her](#):

Google: "PARALLEL BEAM LOAD CELL"



Her ses et billede, hvor materialets stress er vist

Simulated strain distribution and gauge locations (A and B) for binocular spring element.

Kilde: [https://www.researchgate.net/figure/Simulated-strain-distribution-and-gauge-locations-A-and-B-for-binocular-spring-element\\_fig11\\_273654474](https://www.researchgate.net/figure/Simulated-strain-distribution-and-gauge-locations-A-and-B-for-binocular-spring-element_fig11_273654474)

## "Vores vejecelle"



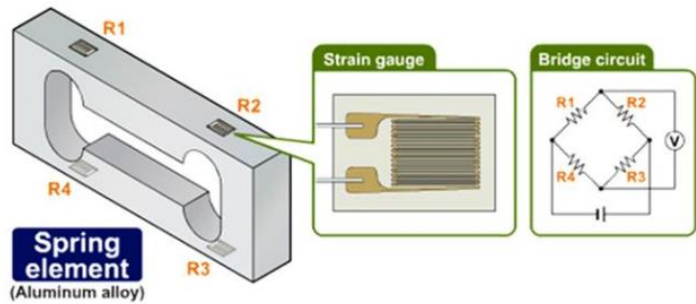
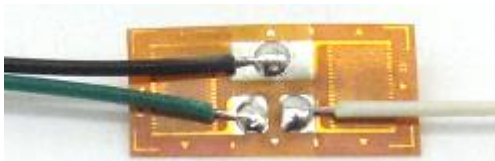
Her er vist et billede af en af vore vejeceller. Man ser, at det er en dobbelt strain gauge, der er limet på.

Der er også en tilsvarende nedenunder. Dvs. alle 4 modstande i wheatstone broen !

Vore vejeceller er monteret med dobbelt-strain gauges. Dvs. at den ene strækkes mens den anden presses sammen.



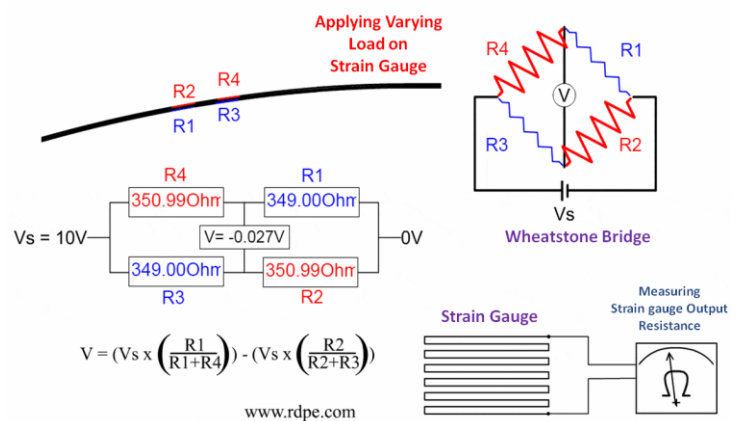
De sorte flader er loddeterminaler:



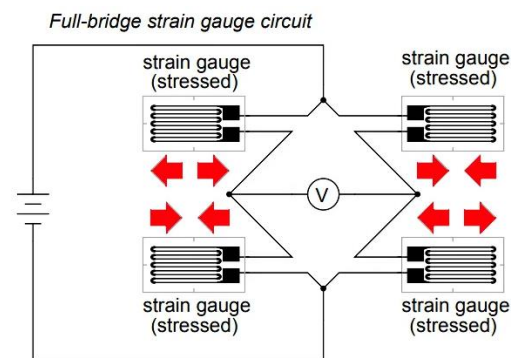
Modstanden i hver Strain Gauge er målt til 1000 Ohm.

Animation af de ændrede modstandsværdier ved forskellige udbøjninger af materialet.

Klik !!



Animation: <https://instrumentationtools.com/strain-gauge-animation/>



Alle ledninger og ledende materialer påvirkes af omgivelsernes elektriske og magnetiske støj.

Det kaldes indstrålet støj, electromagnetic interference. .

Eller rettere snakker man om, hvor god et apparat er til at modstå E/M støj fra omgivelserne.

Se rammen her nedenfor!!



## **Elektrisk Støj**

Generelt kan man sige at elektrisk støj er summen af alle de uønskede former for elektrisk felt, magnetisk felt, elektrisk strøm, og elektrisk spænding i frekvensområdet fra DC til uendelig. Af praktiske årsager begrænser vi ofte frekvensområdet til nogle få GHz - men eksempelvis EMC direktivet gælder i sin nuværende form helt op til 400GHz - og skulle vi engang i fremtiden nå over dette frekvensområde til praktisk brug for nyttesignaler og støjklender - ja så må vi også forvente at lovgivningen på området vil følge med.

## **EMC / EMI:**

Når man snakker om EMC står dette ord for **ElectroMagnetic Compatibility** - hvilket på oversat dansk kunne betyde noget i retning af "elektromagnetisk sameksistens" hvilket igen er forstået som det fænomen at man ikke har problemer med elektrisk støj. Med andre ord er der både styr på at el- og elektronik enheder ikke fungerer som støjklender - og andre el- og elektronik enheder ikke bliver forstyrret af andet elektrisk udstyr, og heller ikke bliver forstyrret / ødelagt af naturlige elektriske støjklender som lyn, statisk elektricitet, kosmisk baggrundsstråling, og solplet aktivitet.

Er der derimod tale om forstyrrelse / ødelæggelse af elektronikken, så er der tale om **Electromagnetic Interference = EMI**

Kilde: [http://www.jens-emc.dk/pages/emc\\_elektrisk\\_stoj.php](http://www.jens-emc.dk/pages/emc_elektrisk_stoj.php)

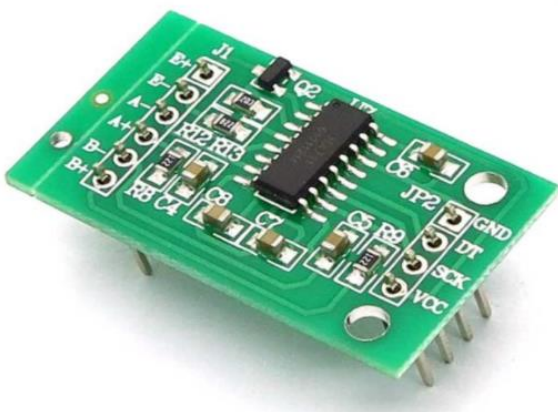
## **Vejecelleforstærker HX711**

I stedet for selv at bygge en veje-celle-differens-forstærker, og dernæst føde en analog spænding ind i en analog indgang i Arduinoen vil vi bruge en færdig forstærker-IC, specielt udviklet til vejeceller. Det giver en meget bedre støjundertrykkelse – og meget bedre opløsning af det digitale signal.

Og oven i hatten har ICen HX711 indbygget en analog til digital konverter på hele 24 bit.

<https://ardu.sky188.dk/shop/hx711-vejecelle-forstaerker-og-ad-converter/>

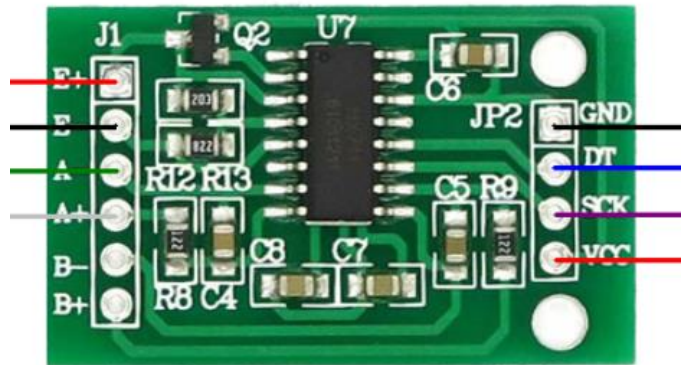
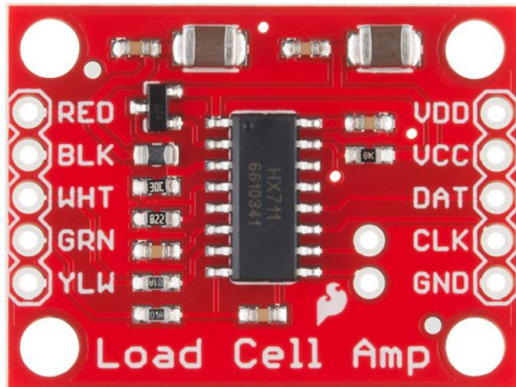
Denne vejecelleforstærker koster ca. 14 kr.



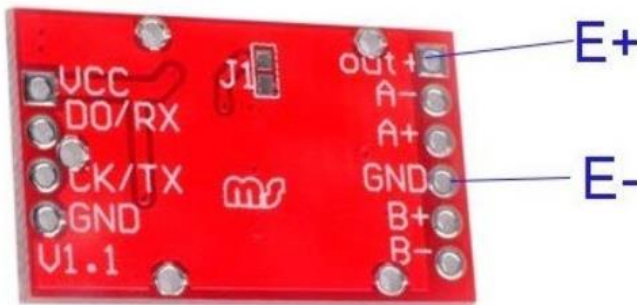
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/load-cell-amplifier-hx711-breakout-hookup-guide/all>



## Load Cell Amplifier HX711 Breakout Hookup Guide

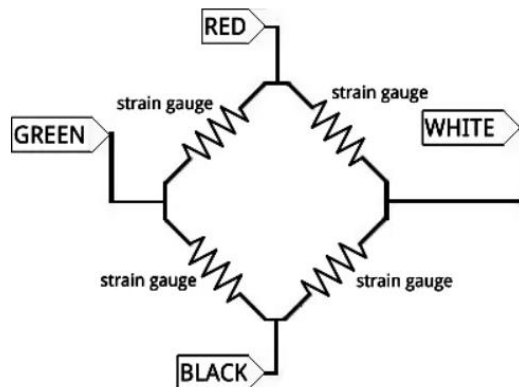
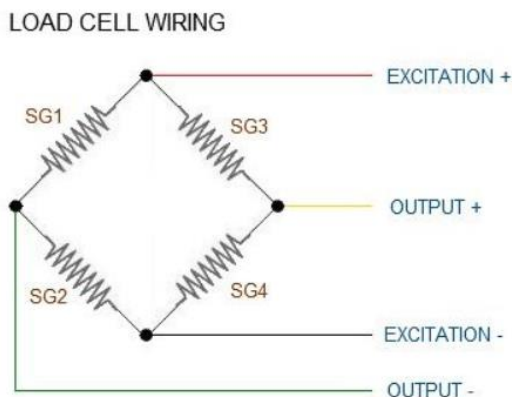


These colors correspond to the conventional color coding of load cells, where red, black, green and white wires come from the strain gauge on the load cell and yellow is an optional ground wire that is not hooked up to the strain gauge but is there to ground any small outside EMI (electromagnetic interference). Sometimes instead of a yellow wire there is a larger black wire, foil, or loose wires to shield the signal wires to lessen EMI.



Her en anden version af HX711-boardet.

Følgende skitser viser hvordan de forskellige farvede ledninger fra Strain Gaugen er forbundet til forstærkeren !!



Ideelt set vil forskellen mellem Output+ og Output- være 0 Volt ved ubelastet vejecelle. Og spændingen i forhold til E+ vil være det halve.



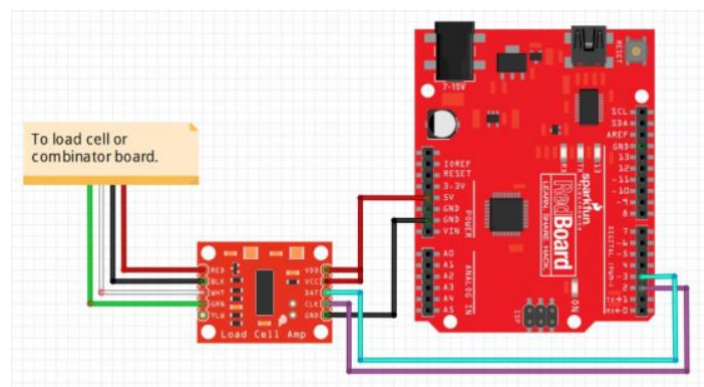
Wheatstone Bridge Node	"Typical" Wire Color
Excitation+ (E+) or VCC	RED
Excitation- (E-) or GND	BLACK or YELLOW
Output- (O-), Signal- (S-), or Amplifier- (A-)	WHITE
O+, S+, or A+	GREEN or BLUE

The four wires coming out from the wheatstone bridge on the load cell are "usually" these colors. :

If the readings from the HX711 are opposite of what you are expect (for example the values decrease as you increase weight) simply reverse the O+/O- wires.

I dette eksempel er DATA og Clock forbundet til pin 3 og pin 2.

VCC til 5 Volt, og VDD til Gnd.



Som ovenfor !



## Målt værdi fra HX711

Ideelt set –dvs. ved ubelastet vejecelle – vil forskellen mellem A- og A+ være 0 Volt. Og spændingen i forhold til 0 vil være det halve af de 4,2 Volt fra forstærkerboardet. Dvs. 2,1 Volt i forhold til Gnd.

Når vejecellen belastes, ændringen modstandene i strain gaugene meget meget lidt. Derfor er det også en meget lille spændingsændring, der vil opstå mellem A- og A+.

Derfor er vejecelleforstærkeren også indrettet til at måle meget små spændingsforskelle.  $\pm 20$  mV.



Selv vægten af selve vejecelle-materialet ( Alu ) giver anledning til en lille nedbøjning. Og der er små toleranceforskelle i selve strain-gaugene. Derfor kan man nok ikke få en måling på 0 ved ubelastet vejning.

Yderligere skal der jo nok monteres en eller anden form for vejeskål. Altså fås en ubelastet ( Tare ) måling på nogle få millivolt, som A/D-konverteren omsætter til et binært tal.

Det tal er jo Tare måling, og skal trækkes fra ens måling, så udlæsningen er 0. ( Kalibrering )

Herudover vil en given kraft på vejeskålen give et større tal end 0.

En belastning på 100 gram giver ikke et tal der er 100 større !! Derfor må der en skaleringsfaktor til.

### Den læste værdi fra HX711:

5 V regulatoren på Unoen er ikke så god og stabil som man kunne ønske sig. Derfor er der på HX711 indbygget en ekstra spændingsregulator, der giver 4,2 V til målebreen.

Følsomheden på HX711's indgang A mellem A+ og A- er  $\pm 20$  mV.

A/D-konverterens opløsning er på 24 bit.

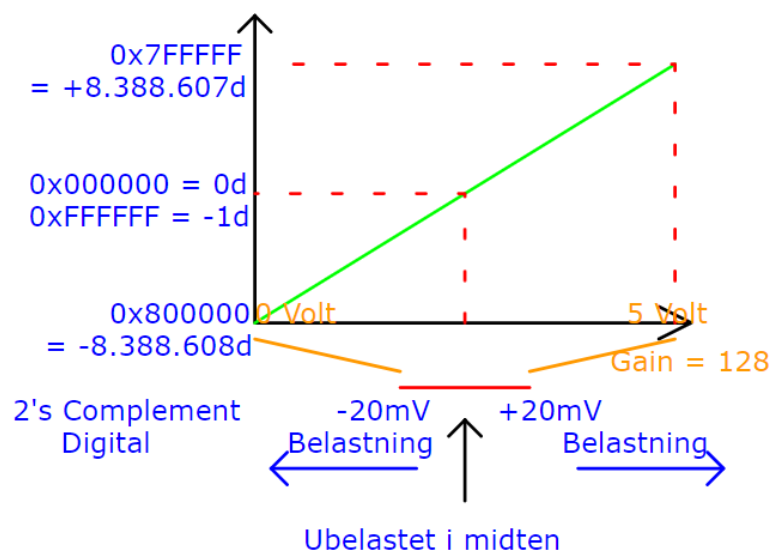
Derfor vil en spændingsvariation i forhold til halv forsyning ( 2,1 Volt ) fra -20 mV til + 20 mV give et binært tal mellem 00 00 00h og FF FF FFh.

Men det er bare ikke så ligetil. Det er forsøgt illustreret ved følgende graf:

Hvis spændingen på A+ er højere end på A-, vil A/D-konverteren give et tal fra 0h til 7F FF FFh.

Er polariteten modsat, dvs. spændingen på A- er højere end på A+, giver A/D-konverteren et tal fra -1d til -8.388.608d

Men tallet er angivet i 2's complement. Dvs. fra FF FF FFh til 80 00 00h

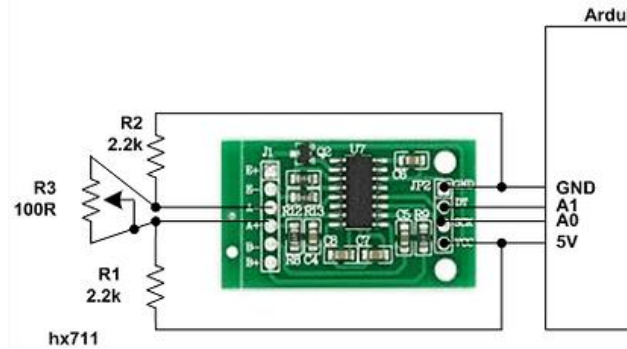






## Testopstilling:

Her er vist en mulig testopstilling. Vha. et potmeter kan man variere den lille spændingsforskel mellem A+ og A-.



Fra: <https://forum.arduino.cc/t/hx711-raw-data-exceeds-24-bit/975278/19>

## 1's Complement og 2's Complement

I computerverdenen er der selvfølgelig behov for at kunne addere og subtrahere tal. Det gav dog problemer, fordi man – når man skal trække fra, nogle gange får brug for at ”Låne” fra næste højere bit. Og hver ”låne” kan ha behov for at låne fra næste højere bit osv. .

Og fordi computere ikke kan trække fra, men godt kan addere to tal.

Dvs. at man ved fx 7-5 i stedet bruger formen: 7 + (-5)

Men så må man ændre måden, man skriver -5 med bits. Og her kommer 1's Complement ind i billedet.

En variabel, der defineres som ”signed” – dvs. med fortegn – kan indeholde både positive tal og negative tal. Positive tal er ligetil i det binære system. Men negative tal gemmes som 1's Complement.

Eks. Med tallet -5

Først ses på +5. 0000 0101

Så flippes alle bit: ( 1's Complement ) 1111 1010

Og der adderes 1: ( 2's Complement ) +0000 0001  
=1111 1011

Nu kan 7 og -5 konverteret til 2's 0000 0111 = 7  
Complement adderes: + 1111 1011 = -5  
= 0000 0010 = 2

## 2's Complement

2's Complement er blot 1's Complement adderet med 1

Se en god tutorial: <https://www.electronics-tutorials.ws/binary/signed-binary-numbers.html>



Se fx: [https://en.wikipedia.org/wiki/Two%27s\\_complement](https://en.wikipedia.org/wiki/Two%27s_complement)

Eller: <https://www.exploringbinary.com/twos-complement-converter/>

## **Kalibrering og skalering**

Her ses ikke på negative målinger ! Vejecellen kan jo både presses ned, men også løftes !!  
Et løft vil give et negativt tal !!

Som tidligere vist, fås en måling der er et udtryk for kraften fra selve vejecellen og vejeskålen.  
Dvs. tallet er større end 0, - og den må jo trækkes fra en reel måling af et objekts vægt.

Den kan kaldes en Kalibreringsfaktor eller Offset. .

Yderligere skal regnes med en skaleringsfaktor. Det er jo ikke sådan, at en belastning på vejecellen på 100 gram giver en måling der er steget med 100.

Er den målte værdi ved 100 grams belastning fx 2000, skal man jo dividere med 20 for at få en korrekt måling.

## **Software:**

Der er udviklet flere biblioteker til at bruge HX711 sammen med Arduinoen.

Men i det følgende vil vi se lidt om hvordan kommunikationen foregår!!

Når man kobler eksternt udstyr sammen med en uC, gøres det typisk på nogle bestemte måder, beskrevet i en ” protokol ”.

Der findes flere protokoller. fx:

- Seriel kommunikation via den indbyggede UART. Rækker ikke langt, - men kan udvides via et par IC-er ( RS485 ) til at række op til flere km.
- IIC, I2C, ”I Square C” som vist står for ”Inter IC”. Denne standard er kun beregnet til at gå rundt på et print mellem forskellige IC-er.
- SPI, ” Serial Peripheral Interface-bus ” der også kun er til brug på et print.

Men herom se et andet dokument.



Den protokol, der benyttes til HX711 er helt speciel. Den kaldes "non-i2c compliant two wire protocol"

It is a customized serial interface which has no standardized rules like the I2C Standard/protocol or the SPI.  
( <https://forum.arduino.cc/t/what-kind-of-protocol-does-the-hx711-use/402474/5> )

Det hele styres af Microcontrolleren. Den genererer en række clockpulser på den pin, der forbindes til Clk på HX711. HX711 vil så sætte enten et 0 eller 1 på dens Data-udgang, som uC-en så læser inden den genererer næste clock-signal.

Data hentes således serielt fra HX711 på en "datasignal-ledning" styret af en Clockpuls, der genereres af processoren.

Der skal hentes 24 bit. Derfor skal processoren generere 24 clock-pulser for at clocke data ud af HX711.

Men der skal sendes mindst 1 mere.

Den 25. Bit indstiller HX711 til at bruge kanal A og Gain 128 ??

Sendes 26 eller 27 bit: indstilles som vist på grafen her.

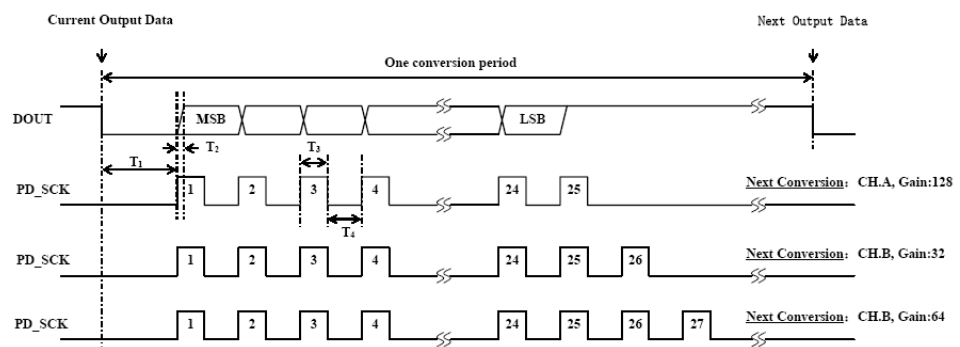
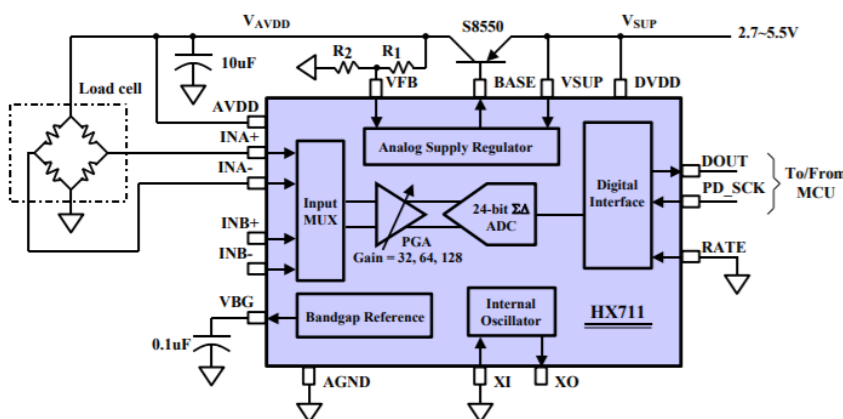


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

Måden, processoren clocker data ud af IC-en kaldes at "Bit Bange" eller "Bitbanging".

The code just bit-bangs the clock line to read the 24 bits of data and then set the gain with the last few clock cycles.



HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.



Datablad: [https://www.mouser.com/datasheet/2/813/hx711\\_english-1022875.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/813/hx711_english-1022875.pdf)

At least 25 pulses are sent by the controller, the first 24 are used to read the data of this AD conversion, and the last one is used to select the channel and gain of the next conversion.

Pseudokode for læsning af HX711:

```
Unsigned variabel x = 0;
Gør Clk lav
Vent til HX711s data er lav
Gentag 24 gange {
  Gør clk høj
  Gør Clk lav
  Skub alle bit i x 1 plads til venstre
  Læs bit på Data, og gem i bit 0 i variabel x
} slut gentag

Gør clk høj
Gør Clk lav // dvs. send den 25. klockpuls. Indstiller HX711 til gain = 128
Vent 1000 mS
```

Her et eksempel på, hvordan man kan kommunikere med HX711 uden at bruge et bibliotek!!  
Eksemplet viser, hvordan man clocker data ud !  
I koden laves der et gennemsnit af 10 målinger !!  
Koden er ikke afprøvet !!

Alle 10 målinger lægges i et Array, og midles til sidst

```
/* Dette program læser 10 målinger fra HX711
   med 1 sekunds interval.
   Hver læst RAW værdi printes i HEX, og
   derefter udregnes gennemsnittet som
   også printes.
   Modificeret og testet d. 02/01-2023 / Valle
*/

unsigned long x = 0, y = 0;
unsigned long dataArray[10];
unsigned long Av = 0;
uint8_t j = 0;
uint8_t cl = A0;
uint8_t dat = A1;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(dat, INPUT); //data line
  pinMode(cl, OUTPUT); //SCK line
  digitalWrite(cl, LOW); //SCK is made L
}
```



```
void loop() {

  for (int j = 0; j < 10; j++)
  {
    while (digitalRead(dat) != LOW) {} //wait until Data Line goes LOW
    //
    for (int i = 0; i < 24; i++) //read 24-bit data from HX711
    {
      clk(); //generate CLK pulse to get MSB-bit at A1-pin
      x = x << 1;
      bitWrite(x, 0, digitalRead(dat)); // Read Data and Save to bit 0 in x
    }
    clk(); //25th pulse
    Serial.print("0x");
    Serial.println(x, HEX); // Print Value from HX711
    y = x;
    x = 0;
    delay(1000);
    dataArray[j] = y; // Save value to Array
  }
  Serial.println("===averaging process=====");
  Av = 0; //

  for (int j = 0; j < 10; j++) {
    Av += dataArray[j];
  }
  Serial.print("Average Count: 0x");
  Av = Av / 10;
  Serial.print(Av, HEX);
  Serial.print(" = ");
  Serial.print(Av, DEC);
  Serial.println(" decimal ");

  // negativt hvis venstre bit er sat
  if ( Av > 0x800000) { // tallet er negativt !!
    // Tallet er i 2's complement !!
    Av = Av ^ 0xFFFFF; // Omregn til decimal( flip alle bit, X-or )
    Av++; // læg 1 til
    Serial.print(" Negativ, omregnet til Hex: 0x");
    Serial.print(Av, HEX);
    Serial.print(" = -");
    Serial.print(Av, DEC);
    Serial.println(" decimal");
  }
} // EndLoop

// -----

void clk() {
  digitalWrite(cl, HIGH);
  delayMicroseconds(50);
  digitalWrite(cl, LOW);
} // End clk-Function
```

( kode inspireret fx fra: <https://community.cypress.com/t5/PSoC-6-MCU/HX711-Sample-code-to-configure-ADC-pin/m-p/218102>



Eller: <https://forum.arduino.cc/t/load-cell/578825/3>

Eller: <https://forum.arduino.cc/t/hx711-raw-data-exceeds-24-bit/975278/20>

( men der var fejl i alle kilde-koderne ! )

## **Bibliotek til HX711 / Arduino**

Men der findes færdige biblioteker, der kan bruges. De har også indbygget mulighed for at man kan indstille en korrekt skalering af outputtet fra vejecellen.

Først skal der hentes et bibliotek til Arduino-installationen!

Vælg: Værktøjer, Manage libraries:

Find og hent dette bibliotek:

```
HX711 Arduino Library  
by Bogdan Necula , Andreas Motl Version 0.7.4 INSTALLED  
Library to interface the Avia Semiconductor HX711 ADC. An Arduino library to interface the Avia Semiconductor HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter \(ADC\) for reading load cells / weight scales.  
More info
```

Nu kan der bruges kode, der benytter sig af forskellige nye funktioner, programmeret i biblioteket

```
/*  
Kode verificeret med ovenstående bibliotek, ej testet! / Valle  
  
Example using the SparkFun HX711 breakout board with a scale  
By: Nathan Seidle  
SparkFun Electronics  
Date: November 19th, 2014  
License: This code is public domain but you buy me a beer if you use this and  
we meet someday (Beerware license).  
  
This is the calibration sketch. Use it to determine the calibration_factor  
that the main example uses. It also  
outputs the zero_factor useful for projects that have a permanent mass on the  
scale in between power cycles.  
  
Setup your scale and start the sketch WITHOUT a weight on the scale  
Once readings are displayed place the weight on the scale  
Press +/- or a/z to adjust the calibration_factor until the output readings  
match the known weight  
Use this calibration_factor on the example sketch  
  
This example assumes pounds (lbs). If you prefer kilograms, change the  
Serial.print(" lbs"); line to kg. The  
calibration factor will be significantly different but it will be linearly  
related to lbs (1 lbs = 0.453592 kg).
```



Your calibration factor may be very positive or very negative. It all depends on the setup of your scale system

and the direction the sensors deflect from zero state

This example code uses bogde's excellent library:

<https://github.com/bogde/HX711>

bogde's library is released under a GNU GENERAL PUBLIC LICENSE

Arduino pin 2 -> HX711 CLK

3 -> DOUT

5V -> VCC

GND -> GND

Most any pin on the Arduino Uno will be compatible with DOUT/CLK.

The HX711 board can be powered from 2.7V to 5V so the Arduino 5V power should be fine.

```
*/
```

```
#include "HX711.h"
```

```
#define DOUT 3
```

```
#define CLK 2
```

```
HX711 scale;
```

```
float calibration_factor = -7050; //-7050 worked for my 440lb max scale setup
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial.println("HX711 calibration sketch");
```

```
  Serial.println("Remove all weight from scale");
```

```
  Serial.println("After readings begin, place known weight on scale");
```

```
  Serial.println("Press + or a to increase calibration factor");
```

```
  Serial.println("Press - or z to decrease calibration factor");
```

```
  scale.begin(DOUT, CLK);
```

```
  scale.set_scale();
```

```
  scale.tare(); //Reset the scale to 0
```

```
  long zero_factor = scale.read_average(); //Get a baseline reading
```

```
  Serial.print("Zero factor: "); //This can be used to remove the need to tare the scale. Useful in permanent scale projects.
```

```
  Serial.println(zero_factor);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  scale.set_scale(calibration_factor); //Adjust to this calibration factor
```

```
  Serial.print("Reading: ");
```

```
  Serial.print(scale.get_units(), 1);
```

```
  Serial.print(" lbs"); //Change this to kg and re-adjust the calibration
```

```
factor if you follow SI units like a sane person
```

```
  Serial.print(" calibration_factor: ");
```

```
  Serial.print(calibration_factor);
```

```
  Serial.println();
```

```
  if(Serial.available())
```

```
  {
```



```
char temp = Serial.read();
if(temp == '+' || temp == 'a')
  calibration_factor += 10;
else if(temp == '-' || temp == 'z')
  calibration_factor -= 10;
}
}
```

Flere eksempler : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/load-cell-amplifier-hx711-breakout-hookup-guide/all>

After calibrating the scale, you can run this sample program, then hack it up for your own purposes:

```
//-----Kode verificeret med ovenstående lib, ej testet!! / Valle

/*
  Example using the SparkFun HX711 breakout board with a scale
  By: Nathan Seidle
  SparkFun Electronics
  Date: November 19th, 2014
  License: This code is public domain but you buy me a beer if you use this and
  we meet someday (Beerware license).

  This example demonstrates basic scale output. See the calibration sketch to
  get the calibration_factor for your
  specific load cell setup.

  This example code uses bogde's excellent
  library:"https://github.com/bogde/HX711"
  bogde's library is released under a GNU GENERAL PUBLIC LICENSE

  The HX711 does one thing well: read load cells. The breakout board is
  compatible with any wheat-stone bridge
  based load cell which should allow a user to measure everything from a few
  grams to tens of tons.
  Arduino pin 2 -> HX711 CLK
  3 -> DAT
  5V -> VCC
  GND -> GND

  The HX711 board can be powered from 2.7V to 5V so the Arduino 5V power should
  be fine.

*/

#include "HX711.h"

#define calibration_factor -7050.0 //This value is obtained using the
SparkFun_HX711_Calibration sketch

#define LOADCELL_DOUT_PIN 3
#define LOADCELL_SCK_PIN 2
```





```
HX711 scale;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711 scale demo");

  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
  scale.set_scale(calibration_factor); //This value is obtained by using the
  SparkFun_HX711_Calibration sketch
  scale.tare(); //Assuming there is no weight on the scale at start up, reset
  the scale to 0

  Serial.println("Readings:");
}

void loop() {
  Serial.print("Reading: ");
  Serial.print(scale.get_units(), 1); //scale.get_units() returns a float
  Serial.print(" lbs"); //You can change this to kg but you'll need to
  refactor the calibration_factor
  Serial.println();
}

// fra: https://www.instructables.com/Arduino-Scale-With-5kg-Load-Cell-and-HX711-Amplifi/
```

## Omregning til gram:

```
#include "HX711.h"

// HX711 circuit wiring, Kode Verificeret / Valle
//https://www.teachmemicro.com/how-to-use-load-cell-hx711-arduino/
//Med matematik for ret linje

const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 3;

HX711 scale;

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
}

void loop() {

  if (scale.is_ready()) {
    long reading = scale.read() * 266;
    float grams = (float)reading / 100000.0;
    grams = grams - 996.0;
    Serial.print("HX711 reading: ");
    Serial.print(grams);
    Serial.println(" g");
  } else {
    Serial.println("HX711 not found.");
  }
}
```



```
delay(1000);  
}
```

For omregning til Gram: se <https://www.teachmemicro.com/how-to-use-load-cell-hx711-arduino/>

Flere kilder: Se fx:

Hvordan kalibreres?

[https://www.youtube.com/watch?v=vOUo7UxpZyU&ab\\_channel=MYBOTIC](https://www.youtube.com/watch?v=vOUo7UxpZyU&ab_channel=MYBOTIC)

<https://wolles-elektronikkiste.de/en/hx711-based-balance>

Andre kilder, med et andet bibliotek:

<https://makersportal.com/blog/2019/5/12/arduino-weighing-scale-with-load-cell-and-hx711>