

Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på *www.tekniskkulturarv.dk/about*

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*

A. Poulsen.

Nyere Theorier for Beregningen
af Jærnkonstruktioners Bæreevne

INDUSTRI-
FORENINGEN.

3256.

Industribiblioteket

Grp: 98 Forfatter: A Poulsen

Titel: Nye Theorier for Beregning af Jernkonstruktioners Bærelse.

Bind: Udgave: Trykkaar: 1889

Industribiblioteket

5319:69

5319:69

**INDUSTRI-
FORENINGEN.**

Nyere Theorier for Beregningen af Jærnkonstruktioners Bæreevne.

Af Cand. polyt., Ingeniør **A. Poulsen.**

Hovedtanken i de efterfølgende Bemærkninger om Beregningen af Jærndeles Dimensjoner kan i en vis Forstand ikke betegnes som ny for Teknisk Forenings Medlemmer, idet Foreningens Tidsskrift i Aargang III har indeholdt en lille Afhandling om de nyere Theorier. Disses matematiske Grundlag kunne vi altsaa her gaa let hen over for saa meget udføreligere at dvæle ved det, der har givet Anledning til at tage Sagen op paa ny, nemlig de siden da foretagne supplerende fundamentale Forsøg, nogle nyere Synspunkter, som disse Forsøg have tilvejebragt og de nyere Theoriens tiltagende Anvendelse i Praxis i Ulandet.

Ved Siden heraf skulle vi omtale nogle Forhold, der i den nyere Tid have været Gjenstand for Undersøgelser med Hensyn til deres Indflydelse paa Jærnkonstruktioner og have en vis Interesse, uagtet Undersøgelserne have vist, at de ere af forholdsvis ringe Betydning. Den nu til Dags stedfindende udstrakte Anvendelse af Jærnet i dets forskellige Modifikationer gjør jo nemlig, at selv Detailspørgsmaalene faa Interesse. Man behøver kun at mindes, at et Par af de største eksisterende Broanlæg have kostet over 50 Milioner Kroner og at deres Spændvidde naar op over 500 Meter for at indse, at der baade kan spares noget ved en rationel Anvendelse af Materialet, men ogsaa risikeres noget, dersom de Forudsætninger, paa hvilke Konstruktionen hviler, ikke holde stik.

De mangfoldige Forsøg, der i den Anledning i den nyere Tid foretages i specielle Forsøgsanstalter angaa navnlig de Former, hvori Jærnet mest anvendes, nemlig som Staal og som Smeddejærn, medens Støbejærnet for det meste kan lades ude af Betragtning. Det gjælder ikke alene om at opspore de enkelte Materialsorters individuelle Ejendommeligheder, for at man

kan vælge den Sort, der passer bedst for hver enkelt Anvendelse, men endnu vigtigere er det at udfinde de mere almindelige fælles Egenskaber, saa at man kan klassificere de talrige Materialsorter, der forekomme og stadig forøges med ny tilkomne. Der foreligger forskellige Forslag til Tilvejebringelsen af en let Oversigt over de forskellige Jærn- og Staalsorter ved at indføre saakaldte Kvalitetstal, en Art Hovedkarakter, der ved en enkelt Talstørrelse skulde give Indbegrebet af Sortens Kvalitet, idet Talstørrelsen paa en bestemt Maade udregnedes af de ved Forsøg med Materialet bestemte Talværdier, der udtrykke de specielle Egenskaber. Der vil nedenfor blive Lejlighed til atter at berøre disse Forslag; her skal det kun anføres, at det ikke er lykkedes at komme til Enighed med Hensyn til Valget imellem Forslagene, saa at de foreløbig maa blive uden praktisk Betydning. Der savnes paa dette Omraade en Art Højesteretsdom af samme Art som den, der er fældet i Spørgsmaalet: Hvad er Jærn og hvad er Staal? Den Forvirring, som Fabrikkerne havde indført i Begreberne herom, kan vist nok betragtes som hævet af den internationale Komite, der traadte sammen ved Verdensudstillingen i Filadelfia i 1876 og hvori Repræsentanter for de vigtigste jærnproducerende Lande havde Sæde, nemlig, foruden 2 Repræsentanter for Nordamerika, en for hver af Landene England, Frankrig, Tyskland, Østerrig og Sverrig*). De af denne Komite angivne Betegnelser have f. Ex. siden været anvendte i Praxis af den Tysklands, Østerrigs og Luxemborgs Jærnbaner omfattende „Verein deutscher Eisenbahnverwaltung“, som tillige har suppleret de af Filadelfia-Komiteens i de 4 ved Komiteen repræsenterede Sprog angivne Betegnelser med de nedenstaaende under 1 og 2 anførte for Raajærn og Støbejærn.

	tysk:	fransk:	engelsk:	svensk:
1. Raajærn	Roheisen.	{ fonte brute. { fonte de 1 ^e fusion.	pig iron.	tackjærn.
2. Støbejærn	Gusseisen.	{ fonte moulé. { „ de 2 ^e fusion.	cast iron.	gjutjærn.
3. Svejsejærn	Schweisseisen.	fer soudé.	weld iron.	wälljærn.
4. Svejsestaal	Schweissstahl.	acier soudé.	weld steel.	wällstål.
5. Flus- eller Gydejærn . . .	Flusseisen.	fer fondu.	ingot iron.	götjærn.
6. Flus- eller Gydestaal . . .	Flussstahl.	acier fondu.	ingot steel.	götstål.

*) Se Den tekniske Forenings Tidsskrifts Aargang 7 1883—84, Side 52.

Filadelfia-Komiteens Bestemmelser gjenfindes endvidere som det væsentligste Indhold af det preussiske Ministeriums i 1889 givne Forskrifter om ensartet Benævnelse af de forskellige Jærnmaterialier ved Jærnbanevæsenet, som med Hensyn til Betegnelsen efter Fabrikationen bestemte:

1. Raajærn er Produktet fra Højovnen. Det er let smelteligt, men ikke smeddeligt. Det kan efter sin Herkomst betegnes som Kokesraajærn eller Trækul-raajærn, efter sin Farve og Struktur som hvidt (Spejllærn, hvidstraale, hvidkornet) graat eller halveret Raajærn.

2. Støbejærn er det i særlige Former støbte, i Regelen i en Kupa- eller Flammeovn omsmeltede Raajærn. Sættes der ved Osmeltningen Staalaffald til Raajærnet, saa er Produktet „Staalgods“ („Stahlguss“). Er Støbegods bag efter gjort smeddeligt, saa tilføjes Betegnelsen „smeddeligt“ eller „adouceret“ Støbejærn („Temperguss“). Er Støbegods formet i aabne Former eller i Sand, Masse eller Ler, saa kan det betegnes Herdgods, Sand-, Masse- eller Ler-Gods.

3. Svejsejærn er det i dejagtig Tilstand fremkomne, i Regelen ved Pudling dannede smeddelige og svejselige, men ikke kjendelig hærdelege Materiale, der nu som oftest kaldes Smeddejærn. Er det valset eller smeddet til Blik eller Stænger eller trukket til Traad, saa kan det kaldes Blik (Bølgeblik, („Hvid“)-Blik o. s. v.) Valse- eller Stangjærn og Kvadrat-, Rund-, Flad-, Profil-, Baandjærn o. s. v., Valsetraad eller trukket Traad, og denne Benævnelse kan føjes til Benævnelsen „Svejsejærn“ eller sættes bag efter i en Parenthes (f. Ex. Svejsejærnblik, Svejsejærnstraad o. s. v.) Betegnelsen „Smeddejærn“ bortfalder.

4. Svejsestaal er det i samme Tilstand, som under 3 omtalt, fremkomne, men kjendelig hærdelege Materiale. Skal Fabrikationsmaaden særlig angives, saa sættes denne Betegnelse i en Parenthes efter Betegnelsen Svejsestaal (f. Ex. Puddelstaal, Raffinerstaal, Cementstaal o. s. v.) Skal Formen angives som Blik, Stang eller Traad, saa sker det paa samme Maade, som under 3 angivet (f. Ex. Svejsestaalsblik).

5. Flusjærn (el. Gydejærn) er det i flydende Tilstand fremkomne, ved Bessemer-, Thomas- eller Martin-Proces dannede, smeddelige, men ikke kjendelig hærdelege Materiale. Skal Fabrikationsmaaden særlig nævnes, saa bruges i Stedet for den simple Betegnelse Flusjærn (el. Gydejærn), Betegnelserne „Bessemer-, Thomas- eller Martin-Flusjærn (resp.-Gydej.)“ eller en af disse Betegnelser sættes i Parenthes efter Betegnelsen Flus- eller Gydejærn. Skal Formen angives som Blik, Stangjærn, Traad, saa sker det som angivet under 3.

6. Flusstaal (el. Gydestaal) er det i samme Tilstand fremkomne, men kjendelig hærdelege Materiale. Skal tillige Fabrikationsmaaden særlig nævnes, saa bruges i Stedet for den simple Benævnelse Flusstaal (el. Gydest.) Betegnelserne „Digel-, Bessemer-, Thomas-, eller Martin-Flusstaal (resp. Gydestaal)“ eller en af disse Betegnelser sættes i Parenthes efter Betegnelsen Flus- eller Gydestaal. Skal Formen betegnes som Blik, Stang, Traad, saa sker det som angivet under Punkt 3. — Betegnelsen „Støbestaal“ bortfalder.

Svejse- og Flusjærn eller Staal kunne foruden efter Fabrikationsmaaden og Formen ogsaa betegnes efter Beskaffenheden — f. Ex. senet (traadet) eller finkornet — eller efter Bearbejdelsen — hamret, raffineret. Da Grænsen mellem hærdelegt og ikke hærdelegt Materiale er vanskelig at fastslaa, saa skal i Regelen et Materiale med en Overrivningsmodstand af 5000 kg./□^{cm.} og derover betegnes som Staal, et Materiale med ringere Styrke betegnes som Jærn.

Af et derefter følgende Afsnit om Anvendelse af de forskellige Materialier skal her kun anføres i Ud- drag, at

3. Sveisejærn anvendes til Nitter, Møtriker, Kjæder, Broer og Kjædler,

5. Flusjærn til Sveller, Lasker, Axer, Vognhjulringer, Dragere, Maskindele, Blik o. s. v. og

6. Flusstaal navnlig til Bære- og Spiralfjedre, Skinner, Lokomotivhjulringer og til Værktøj.

Dette sidste Afsnit vil selvfølgelig trænge til Ændringer efterhaanden som der opstaar ny Produkter, der egne sig til den ene eller den anden Anvendelse, og navnlig tør det antages, at Flusjærn og Flusstaal ville trænge ind paa Svejsejærnets nuværende Omraade. Saaledes er allerede i de sidste Aar flere større Broer udførte af Flusjærn, deriblandt ogsaa en enkelt i Tyskland (Hamburg), og som Exempel paa en Bro af Flusstaal eller maaske Flusjærn — hvorom mere siden — kan nævnes Broen over Firth of Forth. Flusmaterialierne — de homogene Materialier — anbefale sig ved at give spinklere og billigere Konstruktioner, men ere desuagtet f. Ex. blevne vragede som Tværdragere til to Broer ved Arnheim og ved Nijmegen, idet den hollandske Regjering efter Forsøg med Staaltværdragernes Bæreevne lod dem ombytte med Tværdragere af Svejsejærn.

I Spørgsmaal som det ovenstaaende om Nomenklaturen ville vi her til Lands væsentlig kun have Tilskuerens Rolle: vi maa lægge Mærke til, hvad de jærnproducerende Lande vedtage, saa at vi vide, hvad det er, der falbydes os under de forskellige Benævnelser. I andre Henseender maa vi derimod danne os en selvstændig Mening, saa at vi paa rette Maade kunne anvende det fra Udlandet hentede Materiale. Det er et Par Spørgsmaal af Interesse i sidst nævnte Henseende, der skulde berøres i det følgende.

Enhver Paavirkning af Kræfter til Strækning eller Sammentrykning af en Konstruktionsdel fremkalder som bekjendt en Formforandring af denne i Kraftens Retning, forbundet med henholdsvis en Formindskelse eller en Forøgelse af det derpaa vinkelrette Tværsnit. Den hosstaaende skematiske Figur oplyser nærmere Forholdene, idet de sammenhørende Længdeforandringer og Paavirkninger ere afsatte henholdsvis som Abscisser og Ordinatorer. Indtil en vis Grænse ere Længdeforandring og Paavirkning næsten proportionale, og Længdeforandringen er væsentlig ikke-blivende. Overskrides denne Grænse, „Elasticitetsgrænsen“, *E*, kommer man gennem et Overgangsstadium *E-S* til et Stadium, paa hvilket der atter næsten høves Propor-

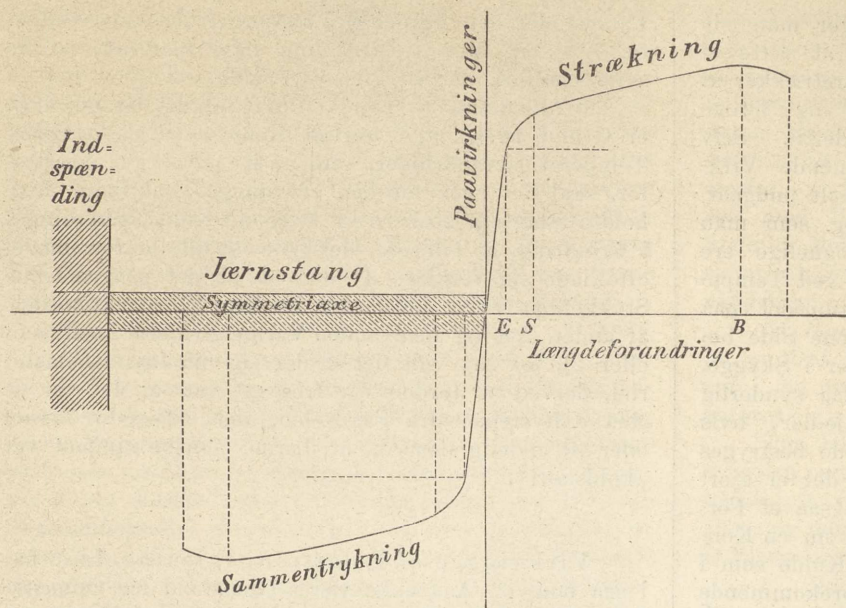


Fig. 1.

tionalitet, nemlig mellem Længdeforandringerne og Paavirkningernes Variationer, men Formforandringerne ere paa dette Stadium væsentlig blivende; fra Grænsen *S* foregaar der altsaa en Strækning eller Sammentrykning, som er forholdsvis meget større end den elastiske Formforandring inden for Grænsen *E*. Overgangsstadiet *E—S* har Egenskaber fælles halvvejs med hver af de tilstødende Strækninger. — Forøges Paavirkningen indtil et vist Punkt *B*, begynder Legemet at brydes, hvilket viser sig derved, at — under Strækning — et eller andet Steds Tværsnit knibes stærkt ind samtidig med, at der foregaar en betydelig lokal Forlængelse, og snart efter indtræder Bruddet. Dette Brudfænomen kunde synes at være selvfølgelig: Ved den betydelige Paavirkning, der virker, har jo nemlig Stangen strakt sig, dens Tværsnit er formindsket — altsaa bliver Paavirkningen pr. Arealenhed større end den var i det Øjeblik, da Brudbelastningen begyndte at virke, der følger en yderligere Strækning, Indknibning o. s. v.; men særlige Forsøg vise, at Bruddet indtræder selv om Paavirkningen formindskes i Forhold til Indknibningen. Modstandsevnen er altsaa fra Brudgrænsen *B* at regne virkelig formindsket, saaledes som det paa Figuren er antydnet derved, at Kurven bøjer sig mod Abscisseaxen. Ogsaa Forholdene under det analoge Tilfælde af Brud ved Sammentrykning bevise dette, idet Bruddet ingenlunde standser paa Grund af den indtrædende stærkere Tværsnitsforøgelse. Fra det kritiske Punkt *B* at regne er Massen at betragte som halvt plastisk.

Til denne almindelige Oversigt hører nu flere Anmærkninger, saasom at en Paavirkning aldrig frembringer hele sin Virkning strax — tværtimod, man har særlig ud over Elasticitetsgrænsen ikke kunnet paavise en Virkning, der var afsluttet, hvorlænge man end lod Paavirkningen virke konstant. Men naar en Stang strækker sig „i det uendelige“,

selv om det kun er lidt ad Gangen, saa er den, praktisk set, i Færd med at brydes. Man har deri en Grund til i Praxis at undgaa Paavirkninger uden for Elasticitetsgrænsen, foruden den Grund, at forskellige af vore Beregningsformler kun have Gyldighed indtil samme Grænse. Inden for Elasticitetsgrænsen er den Omstændighed, at Formforandringerne Varighed synes ubegrænset, af mindre Betydning, fordi kun en meget lille Del af dem er blivende. Derimod er det af allerstørste Vigtighed, at selve Elasticitetsgrænsen og Elasticitetskoefficienten for et bestemt Prøvestykke ingenlunde ere uforanderlige Størrelser. De kunne, som det senere nærmere skal omtales, ved passende Behandling af Prøvestykket bringes til at variere, idet f. Ex. en Overbelastning kan bringe saavel Elasticitetsgrænsen som ogsaa Brudgrænsen til at voxe. Vil man benytte de ved Forsøg fundne Talstørrelser til at anstille en Sammenligning mellem

forskjellige Materialier, saa er det altsaa af yderste Vigtighed, at Prøvestykkerne ikke forud have været Gjenstand for indbyrdes afvigende Behandlinger.

De Forsøgsresultater, af hvilke de før omtalte Kvalitetstal have været foreslaaet beregnede, ere saadanne som 1) Brudgrænsen *B*, udtrykt i Vægt pr. Arealenhed, 2) Indsnøringen paa Brudstedet, angivet procentvis som Forholdet mellem Tværsnittets Variation og dets oprindelige Størrelse, 3) Brudforlængelsen for Prøvestykker af en vis vedtagen Længde (f. Ex. 25^{cm.}), ligeledes angivet procentvis, 4) Brudarbejdet, altsaa Paavirkningen multipliceret med Længdeforandringen, hvilket Produkt i Figur 1 er fremstillet ved det Areal, der ligger imellem Kurven og Abscisseaxen. Endelig 5) Elasticitetsgrænsen (*E*) og 6) Strækningsgrænsen (*S*, se Fig. 1) samt 7) Elasticitetskoefficienten. Af de forskellige foreslaaede Kvalitetstal har dog, som allerede nævnt, endnu intet vundet almindelig Udbredelse.

Det har i de senere Aar været Gjenstand for omhyggelige Undersøgelser ved forskellige videnskabelige Forsøgsanstalter, om disse for et Jærnmateriale karakteristiske Momenter ere paalidelige Kjendemerker for Styrken, eller om de maaske kunne forandre sig under den praktiske Anvendelse. Medens der staar adskillige Spørgsmaal i den Henseende paa Dagsordenen som værdige til nærmere at undersøges, ere et Par Forhold allerede saa grundig undersøgte, at Praxis kan nyde godt af Forsøgsresultaterne. Det er disse Forhold der nærmere skulle omtales, nemlig 1) Indvirkningen af Kulde og Varme og 2) Virkningen af, at en vis Paavirkning gjentages, som det for permanente Konstruktioner maa paaregnes, i det uendelige.

I.

Temperaturforandringer gribe paa forskjellig Maade forstyrrende eller dog ubelejlig ind i Konstruk-

tionerne. Ved Sprængværksbroer uddrager man sig som bekendt den uheldige Virkning ved at sætte et Hængsel i Toppen, hvis man da ikke foretrækker at beregne de opstaaende Extraspændinger og forøge Konstruktionsdelenes Styrke i Forhold dertil. Selv ved almindelige Dragere kommer der lignende Virkninger, som man formindsker, men ikke helt undgaar, ved at anvende Glide- eller Rullelejer, og som man ligeledes meget vel kan beregne. Uberegnelige ere derimod de Spændinger, der kunne opstaa ved Temperaturforskjel i en og samme Konstruktionsdel paa samme Tid, som f. Ex. i en Plade, hvis ene Side beskinnes af Solen, medens den anden ligger i Skygge. Heldigvis vil dette Forhold ikke kunne faa synderlig Betydning undtagen maaske for Dampkedler, hvis Ildkanaler køles af Kjedelvandet, medens de bestryges af Flammen paa den modsatte Side. Det, der er gjort til Gjenstand for nærmere Forsøg, er da ogsaa et Forhold af mere almindelig Interesse, nemlig om en Konstruktionsdel har samme Styrke i stærk Kulde som i stærk Varme, alt inden for de i Praxis forekommende Grænsetemperaturer.

Idet vi se bort fra den egentlige „Koldskørhed“ som en Fejl, der simpelt hen skriver sig fra skadelige kemiske Bestanddele i Jærnet (Fosfor), da have de nyere Forsøg ikke givet nogen Anledning til ved Konstruktionerne at tage særligt Hensyn til Temperaturforandring. Selv ved 200° C. — Temperaturen for en Dampkedel med c. 15½ Atmosfærers Spænding — synes Jærnet ikke at lide væsentlige Forandringer. Heller ikke Kulde virker skadelig, tvært imod anføres det af flere, at Styrken forøges lidt ved Kulden, hvilket jo ogsaa staar i god Samklang med, at den modsatte Virkning — en meget stærk Opvarmning — som bekjendt ganske fjærner Jærnets Sammenhængskraft.

Ved en Temperatur noget over 200° — mellem 250° og 350° — har man fundet en Aftagen i Strækkelighed og Sejghed, som efter den ved samme Temperatur indtrædende blaa Anløbning har faaet Navnet „Blaaskørhed“. De nærmere Forhold ved denne ere i øvrig ikke fuldt oplyste, og praktisk Betydning har Blaaskørheden kun for saa vidt, som den maaske kan spille en Rolle ved Kjedeleksjoner, naar en abnorm Opvarmning af Jærnet har fundet Sted.

At endelig Jærnet i glødende Tilstand er ubrugeligt som Konstruktionsmateriale, er i mange Tilfælde ogsaa uden Betydning, idet man f. Ex. ikke vil færdes over en brændende Bro. Derimod har dette Punkt en særlig Interesse, fordi Jærnpiller og Jærndragere i den nyere Tid anvendes efter saa stor en Maalestok i almindelige Bygninger, hvis Etager i Ildebrandstilfælde ikke gjerne skulde kunne styrte sammen, før f. Ex. Lofterne vare gjennembrændte. Navnlig Søjlerne ere under en Brand meget hurtigt udsatte for Ødelæggelse ved efter Opvarmningen at træffes af en Vandstraale fra Sprojten. I Berlin er der siden 1884 af den Grund befalet, at alle bærende Støbejærnsøjler skulle omgives med en Isolerkappe, en Forsigtighed, som man vel næppe tør vente anvendt i private Bygninger her til

Lands, idet den Fordel ved Jærnsøjlerne, som Arkitekterne i saa stor Udstrækning have benyttet, at de syne saa lidt, derved vilde bortfalde.

I Anledning af, hvad foran er anført, at der ikke er Grund til at tage særligt Hensyn til de ordinære Temperaturforandringer, som en Konstruktion udsættes for, skal det over for den af mange Praktikere fastholdte Sætning, at Jærn er svagest i Kulde, kun bringes i Erindring, at Tilfælde, der synes at tale herfor, meget ofte lade sig forklare 1) derved, at det paagjældende Stykke har været indspændt imellem Konstruktionsdele af anden Art og med anden Varmeudvidelseskoefficient eller 2), for saa vidt det drejer sig om Jærnbanemateriel, derved at Jorden var frossen, saa at det var de stærke Rystelser fra Færdselen, der ødelagde Jærnet eller 3) endelig derved, at Jærnet ganske simpelt var „koldskørt“.

II.

Virksomheden af Belastningsgjentagelser har i saa lang en Aarrække været Gjenstand for Opmærksomheden og været saa nøje undersøgt ved Forsøg, at det har været muligt at tage dette Forhold med i Beregningerne af Konstruktionsdele. Med den Bemærkning, at de nyere, til Dato fortsatte og endnu ikke afsluttede Forsøg først og fremmest have bekræftet de ældre Forsøgs Resultater, skal her henvises til den i den tekn. Foren. Tidsskr. Aargang 3, 1879—80, Side 80—82 givne Udvikling*) af den paa Forsøgene byggede Beregningsmaade m. m. Det forudsættes altsaa bekjendt, at en Række afgjørende Forsøg anstillede i Aarene 1859—70 i Berlin af *Wöhler*, der har sammenfattet Hovedpunkterne af sine Forsøgsresultater i følgende Ord:

„Brud kan fremkaldes ikke blot ved en enkelt Paavirkning af en hvilende (0: uden Stød eller Variationer virkende) Belastning, der overskrider „Bæreevnen“ (*B*), men ogsaa ved oftere gjentagne Paavirkninger, der ikke naa op til Størrelsen *B*. Spændingsdifferenserne (Belastningens Variation) ere for saa vidt af afgjørende Betydning for Holdbarheden, som en større Variation bevirker, at den Paavirkning, der kan fremkalde Brud, bliver mindre.“

Man kan altsaa fremkalde Brud ved at gjentage Paavirkninger mindre end *B*; jo mindre Paavirkningen er, desto oftere maa den gjentages, og en vis Minimumpaavirkning kræver uendeligt mange Gjentaelser for at fremkalde Brud. Bølger Paavirkningen frem og tilbage imellem en vis øvre og en vis lavere Værdi, saa vil Brud fremkaldes desto hurtigere, jo lavere denne sidste Grænseværdi ligger — og omvendt: der findes en Grænse inden for hvilken Variation kan taales i det uendelige uden at fremkalde Brud. — I Følge det anførte bør altsaa interimistiske Værker konstrueres spinklere end permanente, der skulle kunne taale Paavirkningerne i det uendelige.

Wöhler har Æren for at have tilvejebragt et over-

*) Trykfejlen Pag. 81, Sp. 1, L. 35: $v = \frac{p \max + p \min}{2}$

bedes erindret ($v = p \max + p \min$).

ordentlig stort Forsøgsmateriale ligesom for, at den preussiske Regjering, da han 1870 blev forflyttet til en anden Virksomhed, lod de af ham udførte Forsøg fortsætte af *Spangenberg*. Denne forøgede Forsøgsmaterialet og bekræftede *Wöhlers* Forsøgsresultater uden i øvrigt at tilføje noget nyt. Ved *Spangenbergs* Død 1881 stansedes Forsøgene i Berlin; men de ere derefter gjenoptagne i München ved den kongelige tekniske Højskoles Laboratorium under Professor *I. Bauschingers* Ledelse, og denne har leveret forskellige nye Synspunkter for sine egne og for de *Wöhlerske* Resultater.

Paa *Wöhlers* Resultater havde *Gerber* i 1872 bygget en praktisk anvendelig Theori, idet han havde paavist, at naar man for et Materiale ved Forsøg bestemmer de til forskellige Maximumsspændinger svarende Minimumsspændinger saaledes, at Paavirkninger skiftende imellem to saadanne sammenhørende Grænser netop kunne taales i det uendelige, da ville de sammenhørende Grænseværdier være knyttede til hinanden ved en simpel Lov (den *Gerberske* Parabel), der yderligere kan simplificeres ved at søge Relationen mellem Middelpaavirkning og Paavirkningens Variation. Ligningen, der forbinder disse Værdier, er Ligning for en 2den Grads Parabel, i hvilken der kun indgaar to Konstanter*), der kunne variere for de forskellige Forsøgsmaterialier.

Opdagelsen af den *Gerberske* Parabel simplificerer i høj Grad de Forsøg, som behøve at foretages med et Materiale for at faa fuld Underretning om dets Evne til i det uendelige at taale en eller anden Belastningsvariation. Overriver man nemlig et Prøvelegeme ved roligt Træk, altsaa ved „Brudbelastning“, har man allerede derved bestemt „den Middelpaavirkning, *B*, som svarer til Variationen Nul“. Ved Forsøg i det *Wöhlerske* Apparat til gjentagen Belastning bestemmer man derpaa f. Ex. „den Variation, der kan taales, naar Middelpaavirkningen er Nul“ \varnothing ; man lader Paavirkningen skifte fra $+P$ til $\div P$. Man har da to Ligninger til Konstanternes Bestemmelse, saa at man derefter kan beregne, hvilken Variation der vil kunne taales i det uendelige ved en vis omspurgt Middelpaavirkning. Undersøger man et tredje specielt Tilfælde, nemlig Paavirkning varierende fra Nul til den største Værdi, der ved saadan Variation kan taales i det uendelige, saa har man en Kontrol paa de to andre Data saa vel som paa Rigtigheden af *Gerbers* Lov om Parabelen.

Men selv efter denne Reduktion af Forsøgenes Omfang til en eller højst to Bestemmelser af sammenhørende, i det uendelige tilstedelige Paavirkninger ere saadanne Forsøg et meget omfattende Arbejde: Man sætter en Stang i Forsøgsmaskinen, saa at den udsættes for Paavirkning imellem to kjendte Grænser, og naar den f. Ex. efter $\frac{1}{2}$ Million Belastningsskifter brydes, saa ved man kun, at man i Praxis ikke turde tillade saadanne Fiberpaavirkninger. Man sætter altsaa et nyt Prøvestykke i Maskinen, udsat for en Del rin-

gere Paavirkninger — og efter f. Ex. 50 Millioner Paavirkninger har man Grund til at tro, at man nu er kommen paa den sikre Side. Man prøver altsaa en mellemliggende Paavirkningsmaade o. s. v. — men saadanne Forsøg tage frem for alt Tid og kræve under hele deres Varighed en uafbrudt Opmærksomhed. Derfor er det, Professor *Bauschinger* ved sine Forsøg med Belastningsgjentagelser bl. a. har søgt at finde en Methode til ad indirekte Vej at bestemme de sammenhørende Paavirkninger, der kunne taales i det uendelige.

Af *Bauschingers* Forsøgsresultater, der altsaa kun for en Del have haft Forsøg med Belastningsvariationer i det uendelige til direkte Gjenstand, skal følgende anføres.

Som bekjendt vil en Paavirkning, der gaar noget over den oprindelige Elasticitetsgrænse, bevirke, at Materialerne ved senere Paavirkning vise højere Elasticitet, og denne kunstige Forøgelse kan drives saa vidt, at Elasticitetsgrænsen falder meget nær ved Brudgrænsen.

1. Ikke alene ved Jærnsorterne, men ogsaa ved Bronze og Zink er i Følge *Bauschingers* Forsøg dette Tilfældet; Virkningen fremkaldes ved Paavirkningen ikke alene i Løbet af den Tid, hvori den virker, men ogsaa som en Eftervirkning, og kan bringe Elasticitetsgrænsen til at stige højere end til selve den benyttede Paavirkning. Navnlige ved Paavirkning større end Strækningsgrænsen (*S*) har saavel en længere Varighed af Paavirkningen som ogsaa et længere Tidsforløb efter Virkningens Ophør kjendelig Indflydelse paa Elasticitetens Forøgelse.

2. Den øjeblikkelige Virkning paa Elasticitetsgrænsen af en saadan over Strækningsgrænsen liggende Paavirkning er nemlig at forringe Elasticitetsgrænsen, men under Eftervirkningen voxer den atter op lige til Belastningens Værdi, og giver man Tid — nogle Aar —, saa voxer den derudover.

3. Strækningsgrænsen rykker altid strax op til den Værdi, som den anvendte Paavirkning havde, og en Eftervirkning, der allerede er kjendelig efter nogle Dages Forløb, men fortsættes i Uger og Maaneder, bringer Strækningsgrænsen til yderligere at stige op over den anvendte Paavirkning.

4. Paavirkninger skiftende mellem Nul og en Værdi under den oprindelige Elasticitetsgrænse have ingen Indflydelse paa Værdien af Elasticitetsgrænse eller Strækningsgrænse.

5. Paavirkninger der ligge over Elasticitetsgrænsen, men under Strækningsgrænsen, forhøje strax Elasticitetsgrænsen, desto mere jo nærmere Paavirkningen var ved Strækningsgrænsen. Dersom Paavirkningen ligger meget nær ved Strækningsgrænsen, vil Elasticitetsgrænsen naa til et Maximum, idet nemlig en yderligere Forøgelse af Paavirkningen udover Strækningsgrænsen, som allerede nævnt (2) øjeblikkelig flytter Elasticitetsgrænsen ned, saa at den først efter længere Tids Forløb atter kommer tilvejs.

6. Elasticitetskoefficienten vil i Reglen variere paa lignende Maade som Elasticitetsgrænsen. Den kan altsaa blive forringet og derefter ved Eftervirkning

*) Det forudsættes atter her, at Læseren gennemgaar Fremstillingen i 3dje Aargang 1879—80, Side 81.

voxe ud over sin oprindelige Værdi, men synes at voxer langsommere end Elasticitetsgrænsen.

De under 1—6 nævnte Forsøgsresultater over Virkninger af enkelte (ø: ikke i det uendelige gentagne) Paavirkninger ere hovedsageligen udførte med strækkende Paavirkninger, idet det blot ved enkelte Forsøg er paavist, at tilsvarende Love gjælde for sammentrykkende Kræfter.

7. De ad denne Vej frembragte højere Elasticitets- og Strækningsgrænser, og da navnlig den først nævnte, mistes atter dels ved stærke Rystelser som f. Ex. ved kold Smedning og videre Bearbejdelse, eller ved Opvarmning til 350° og 450° med paafølgende resp. hurtig og langsom Afkøling. Ringere Opvarmning med paafølgende hurtig eller langsom Afkøling, selv 10 Gange i Træk, have derimod ingen Virkning, medens stærkere Opvarmning med paafølgende Afkøling have stærkere Virkning, især ved hurtig Afkøling. Har Varmen været „kirsebærrød“, vil hurtig Afkøling give saavel Svejsejærn som Flusjærn og Bessemerstaa Elasticitetsgrænsen Nul eller næsten Nul.

De foregaaende Resultater ere fremkomne under Forsøg med Kræfter, der virkede kun i én Retning, enten alene som Træk eller alene som Tryk, udgaaende fra Nul. Ved Forsøg, der skiftevis bestode i Tryk og Træk, fandt *Bauschinger* følgende Resultater:

8. Ved Træk eller Tryk ud over Elasticitetsgrænsen bliver Elasticitetsgrænsen for henholdsvis Tryk eller Træk betydelig nedsat, desto mere jo mere Belastningen har overskredet Elasticitetsgrænsen, og det er kun en forholdsvis lille Overskridelse af denne, der behøves til at nedsætte Elasticitetsgrænsen for den modsatte Belastningsmaade til Nul. En saaledes nedsat Elasticitetsgrænse kan atter til en vis Grad hæves, men overskrider man den, saa falder strax Elasticitetsgrænsen for den modsatte Belastningsmaade til Nul eller næsten til Nul. — Tiden er ved disse Fænomener uden Indflydelse ø: den ved Træk eller Tryk nedsatte Elektricitetsgrænse for resp. Tryk eller Træk voxer ikke i Løbet af de nærmeste 3—4 Dage og i de nærmeste Ugers Løb kun lidet eller intet.

9. Ved successiv tiltagende, mellem Træk og Tryk skiftende Paavirkninger bliver Elektricitetsgrænsen for modsat Paavirkning først nedsat, naar Paavirkningen overskrider den oprindelige Elektricitetsgrænse.

10. Naar Elasticitetsgrænsen for Træk eller Tryk er bragt ned ved at anvende Tryk eller Træk større end den oprindelige Elasticitetsgrænse (se 8), saa kan den atter ved successiv voxende, mellem Træk og Tryk skiftende Paavirkninger bringes op, men kun til en vis Grænse, der ligger betydelig under den oprindelige Elasticitetsgrænse. Denne lavere Værdi skal her betegnes som „den naturlige Elasticitetsgrænse.“ —

Man kan altsaa i Følge disse Sætninger vilkaarligt flytte Elasticitetsgrænsen op (ved stigende Paavirkninger i den paagjældende Retning) eller ned (ved stærk Paavirkning i modsat Retning) og saaledes forstyre

den Symmetritilstand over for Paavirkninger, hvori Materialet fra Begyndelsen befinder sig. Efter en saadan Forstyrrelse kan man atter ved voxende skiftende Paavirkninger tilvejebringe en Symmetritilstand, der imidlertid afviger fra den oprindelige, idet Materialets elastiske Omraade ved at flyttes frem og tilbage er blevet betydelig indskrænket. —

Skal et Materiale bedømmes efter enkelte Forsøgsresultater med Hensyn til Elasticitetsgrænse o. s. v. vil det altsaa være af yderste Vigtighed at vide, om det endnu er i sin Naturtilstand, og dette vil ofte være yderst vanskeligt at garantere; det synes i saa Fald at være det sikreste at bestemme den under 10 omtalte Symmetritilstand, som ikke er afhængig af de forudgaaende tilfældige Paavirkninger. Denne Tilstand tør antages ret jævnlige at forekomme i Praxis (f. Ex. ved Stempelstænger og lignende, der arbejde frem og tilbage med lige store Modstande i begge Retninger) og i Henhold til, hvad der tidligere er nævnt, at man i Konstruktionerne bør undgaa Paavirkninger, der overskrider Elasticitetsgrænsen, vil man have at sikre sig, at den i Følge 10 fremkommende lavere Elasticitetsgrænse ikke overskrides. Som det nedenfor skal omtales mener *Bauschinger*, at der ogsaa ad anden Vej er tilvejebragt Bevis for Nødvendigheden heraf, nemlig ved de *Wöhlerske* og senere lignende Varighedsforsøg.

Siden 1881 har *Bauschinger* selv haft Lejlighed til at foretage Forsøg efter *Wöhlers* Methode, af hvilke han uddrager følgende Resultater (medens de under 1—10 omtalte Resultater referere sig til Forsøg med enkelte eller dog kun et mindre Antal Gange paa hvert Provelegeme anvendte Paavirkninger, drejer det sig altsaa i det følgende om Paavirkninger i millionvis).

11. Naar gjentagne Paavirkninger til Træk skifte imellem Nul og en højere Grænse, der ligger tæt ved den oprindelige Elasticitetsgrænse, saa ville selv 5 til 16 Millioner Paavirkninger ikke fremkalde Brud. *Bauschinger* føjer til denne Sætning to væsentlige Bemærkninger, nemlig dels at selv smaa Fejl i Materialet have vist sig at have en meget ugunstig Virkning, navnlig ved de homogene Materialer (Flusjærn og Flusstaa), dels at Sætningen kun gjælder for den oprindelige Elasticitetsgrænse, saa at man maa have absolut Sikkerhed for, at denne ikke er flyttet paa den i det foregaaende omtalte Maade ved en eller anden tilfældig Paavirkning.

12. Ved saadanne hyppige Paavirkninger skiftende fra Nul til en øvre Grænse tæt ved eller endogsaa lidt over den oprindelige Elasticitetsgrænse voxer Elasticitetsgrænsen ud over, ofte endogsaa langt ud over den øvre Grænse for Paavirkningerne, og den voxer desto mere, jo hyppigere Paavirkningen gentages, dog uden at kunne naa ud over et vist Punkt.

13. Gjentagne Paavirkninger, der bevirke en Forhøjelse af Elasticitetsgrænsen som omtalt under 12, fremkalde ikke Brud. (Dette indbefatter vel egentlig Sætning 11). Ligger derimod Paavirkningens øvre

Grænse saa højt, at Elasticitetsgrænsen ikke kan bringes til at stige dertil, saa indtræder der Brud efter et ringere Antal Belastningsskifter.

I Sætningerne 12 og 13 ligger Forklaring paa det af *Wöhler* fundne paafaldende Forhold, at Materialier i det uendelige taalte Paavirkninger skiftende fra Nul til op over Elasticitetsgrænsen (den oprindelige) — idet nemlig selve Paavirkningerne have bragt Elasticitetsgrænsen op.

14. Brudmodstanden, σ : Modstanden mod Overrivning ved en langsomt tiltagende tilstrækkelig stor enkelt Paavirkning (B), bliver ikke formindsket, men snarere forøget derved, at Materialet først udsættes for Paavirkninger i millionvis som de under 11, 12 og 13 omtalte og

15. disse frembringe ingen Forandring i Jærnets og Staalets Struktur. Ogsaa Brudfladens Kontraktion og Prøvestykkets Forlængelse ere i det væsentlige ens, hvad enten et Prøvestykke forinden Overrivningen har været underkastet Millioner af Belastningsskifter eller ej. Hvis derimod et Brud fremkaldes ved selve „Varighedsforsøgene“, ere Fladens Kontraktion og Stykkets Forlængelse væsentlig mindre.

Endelig mener *Bauschinger*, at følgende Sætning kan opstilles.

16. Paavirkninger, der skifte imellem lige store Tryk og Træk kunne taales i det uendelige, for saa vidt de ikke overskride „den naturlige Elasticitetsgrænse“ (se 10)

Bauschinger betragter ingenlunde de Varighedsforsøg, paa hvilke Sætningerne 11—16 støtte sig, som afsluttede, men disse Sætninger have ikke desto mindre stor Værdi. Dels indeholdes der i dem en rationel Begrundelse af de *Wöhlerske* (og senere) Forsøgsresultater, idet man kort vil kunne udtrykke sig saaledes, at de Belastningsskifter, der kunne gjentages i det uendelige uden at fremkalde Brud, maa holde sig inden for Materialets elastiske Omraade, som jo i Følge 13 og 16 (cfr. 8 og 10) kan have en meget forskjellig Beliggenhed. Men desuden vise *Bauschingers* Resultater hen til den meget ønskelige Mulighed, at Varighedsforsøg — der, saaledes som ogsaa Navnet antyder, kræve særdeles lang Tid — kunne tænkes erstattede ved Forsøg med enkeltvis Paavirkning, hvilket utvivlsomt i høj Grad vilde bidrage til, at de vandt Indgang i Praxis.

I Følge Sætning 16 skulde jo nemlig Forsøg for at finde den Belastningsvariation, der kan taales i det uendelige, naar Middelpaavirkningen er Nul, kunne udføres ved først at overanstrengte et Prøvestykke, saa at dets Elasticitet i modsat Retning falder til hen ved Nul, og derpaa atter ved successivt voxende skiftende Belastninger have Elasticitetsgrænsen saa højt, som det er muligt σ : til „den naturlige Elasticitetsgrænse“, der saaledes giver et Punkt af den *Gerberske Parabel*. Et andet Punkt af denne bestemmes i Følge Sagens Natur uden Varighedsforsøg, nemlig „Middelpaavirkningen svarende til Variation Nul“ σ : Brudgrænsen, og selv en Kontrol paa den derved bestemte Parabel faas i Følge *Bauschingers* Sætninger 12 og 13

forholdsvis let, idet man undersøger, hvor højt man ved de fra Nul udgaaende Paavirkninger kan have Elasticitetsgrænsen.

Hvor stor Værdi man end vil tillægge disse *Bauschingers* Resultater, maa det ikke tabes af Syne, at Rigtigheden af de *Wöhlerske* Resultater og den derpaa byggede Theori — den *Gerberske Parabel* — ikke staar og falder med dem. Disse sidste ere nemlig i ethvert Tilfælde blevne bekræftede af *Bauschinger* uafhængig af, hvad han har fundet og udtrykt i det under 11—16 refererede. Anvendelsen af *Wöhlers* Resultater i Praxis har fra enkelte Sider fremkaldt Indsigelse — navnlig mod en ensidig Benyttelse uden Hensyn til de mange andre Forhold, der, ligesom Belastningsgjentagelse, kunne have Betydning for Bæreevnen i permanente Konstruktioner; men fra endnu flere Sider er Sagens Betydning bleven anerkjendt ogsaa udenfor Tyskland. I England har man paaberaabt sig Forsøg af ældre Datum end *Wöhlers*, idet *Baker*, den ene af Forthbroens Konstruktører, nævner Forsøg fra 1849 med Bøjning af Støbejærns-Stænger frem og tilbage samtidig med, at en Pendulvægt udsatte Prøvelegemet for Stødvirkninger. De vundne Resultater harmonere med de *Wöhlerske* — men ville næppe kunne give et saa klart Overblik over Forholdene som disse, ved hvilke Stødvirkning og alle andre Aarsager til Brud end netop selve Belastningsgjentagelsen med Flid ere udelukkede. Kun ved at undersøge hver Art af skadelige Paavirkninger for sig kan man formentlig til sidst naa til et Overblik over, hvad de alle i Forening kunne bevirke. *Baker* har ogsaa selv anstillet Forsøg med Støbejern, Smeddejærn og Staal og anbefaler at fortsætte „Varighedsforsøgene“ for at faa et paalideligt Grundlag for Beregninger — siden da (1885) ere for øvrigt netop *Bauschingers* Forsøgsresultater blevne offentliggjorte (i 1886) — men *Baker* mener ikke, at man tør skyde Sagen fra sig ved at henvise til Forsøgenes Fortsættelse, idet han tvært imod opfordrer Konstruktørerne til selv at tage Initiativet til en mere rationel Dimensionsberegning end den, der endnu i England forlanges af Myndighederne. Ved Forthbroen f. Ex. havde Board of Trade forlangt Sikkerhedsgrad 4 regnet fra Materialets Brudgrænse, en Fordring, der af Konstruktørerne er betragtet som aldeles utilfredsstillende, og kun har været bestemmende for Paavirkning ved Vindtryk o. l., altsaa for sjældent forekommende Paavirkninger, medens der i øvrigt efter Omstændighederne er anvendt indtil mere end dobbelt saa stor Sikkerhed.

III.

Der er paa de *Wöhlerske* Resultater bygget adskillige for den praktiske Anvendelse bestemte Formler. For saa vidt dette kunde synes at tyde paa, at Forsøgsresultaterne tilstede afvigende Opfattelser, skal det strax bemærkes, at Forskjellen hidrører fra, at de forskjellige Autorer, idet de konstruerede deres System inden for den ved Forsøgene givne Ramme og ønskede at holde sig paa den sikre Side af Rammen, have tangeret denne paa forskjellige Steder, den ene her,

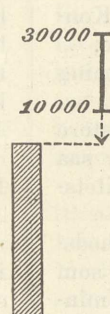
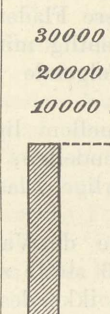
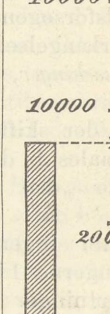
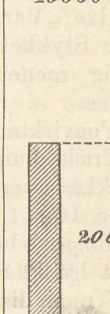
den anden der. De vedføjede Tabeller I og II give en Oversigt over forskellige nyere Formlers Resultater, idet der i Tabel I er foretaget Beregning af Tværsnit for fire vilkaarlig tagne Exempler, og i Tabel II er anført den Fiberpaavirkning, som Formlerne tilstede i 5 efter hinanden følgende Tilfælde, der tilsammen give et Overblik over hele det Omraade paa hvilket Beregning kan blive at foretage (nemlig mellem Grænsetilfældene $\frac{min.}{max.} = \div 1$ (\varnothing : Paavirkningskif-

tende mellem lige stort Tryk og Træk) og $\frac{min.}{max.} = + 1$

(\varnothing : Paavirkning uden Variation) I begge Tabeller er det forudsat, at det er Dele af en større Bro, der skulle beregnes, samt at Materialet er en bestemt Jærnsort, med hvilket Wöhler blandt andet udførte sine Forsøg, nemlig Smeddejærns Axer, leverede Aar 1857 fra Selskabet „Phoenix“, hvilket Materiale gav de i Tabel II under Løbenummer O anførte Forsøgsresultater. —

Belastningsmaaderne ere illustrerede ved de skematiske Fignrer over Tabellernes Kolonner. I begge Tabeller er under Løbenummer 1 anført den „ældre Beregningsmaade“, bestaaende i at „byde Jærnet 10 000

Tabel I.

	Ex. 1.	Ex. 2.	Ex. 3.	Ex. 4.
Beregning af Jærnbanebrodele.				
Tilstanden, naar alene Egenvægten virker, er betegnet ved —●				
	□ cm.	□ cm.	□ cm.	□ cm.
1. Ældre Methode	42. ₈₆	42. ₈₆	57. ₁₄	57. ₁₄
2. Gerber — München	35. ₀₈	43. ₁₄	93. ₉₆	87. ₁₈
3. Schæffer — Darmstadt	35. ₀₈	33. ₁₈	84. ₈₈	87. ₁₈
4. Winkler — Wien	41. ₀₄	38. ₉₃	81. ₀₇	87. ₄₁
5. Seefehlner — Budapest	37. ₁₄	37. ₁₄	106. ₆₇	106. ₆₇
6. Ritter — Wien	41. ₆₇	41. ₆₇	87. ₂₆	87. ₂₆
7. Kherndl — Budapest	44. ₅₀	41. ₆₇	86. ₁₀	89. ₄₉
8. Lippold — Wiesbaden	38. ₄₆	38. ₄₆	76. ₉₂	76. ₉₂
9. Clericetti — Milano	40. ₀₀	40. ₀₀	100. ₀₀	107. ₆₉
10. Séjourné — Toulouse	43. ₃₃	43. ₃₃	80. ₀₀	80. ₀₀
11. Landsberg — Darmstadt	38. ₁₀	33. ₃₃	69. ₃₉	73. ₂₁
12. Häselser — Braunschweig	41. ₆₇	38. ₆₉	—	—
13. do. — —	36. ₄₆	34. ₆₉	79. ₅₉	80. ₀₂
14. Tetmayer — Zürich	41. ₃₅	41. ₃₅	89. ₈₉	89. ₈₉
15. Launhardt & Weyrauch, Hannover & Stuttgart	36. ₇₃	36. ₇₃	76. ₁₉	76. ₁₉
16. Detailberegning efter den i Tekn. Tidsskr., III, Pag. 80 udviklede Formel:				
Variationen i kg	30 000	30 000	90 000	90 000
Maximumspaaavirkn. i kg	+ 40 000	+ 35 000	+ 55 000	+ 70 000
Var. : Max. = φ =	0. ₇₅	0. ₈₆	1. ₆₄	1. ₂₈
ϱ i Følge Hjælpetabellen	1. ₄₀	1. ₅₁	2. ₄₈	1. ₉₉
Sikkerhed fra Brudgrænsen	c. 3. ₈	c. 3. ₆	c. 7. ₀	c. 7. ₂
Arealet = $\frac{\varrho \text{ Max}}{1600} = \square \text{ cm.}$	35. ₀₀	33. ₀₀	85. ₀₀	87. ₀₀

altsaa nær stemmende med ovenanførte Nr. 3.

Tabel II.

Oversigt over Fiberpaavirkningen i Jærnbanebrodele.					
	$\frac{\text{min.}}{\text{max.}} =$	$\div 1$	$\div 0.5$	0	$+ 0.5$
	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
0. Wöhlersk Forsøgsrække	1170	—	2340	—	3290
1. Ældre Methode	700	700	700	700	700
1 a. Broen over Rhinen v. Mainz	—	—	533	800	1600
1 b. Amerikansk Formel	350	467	700	—	—
2. Gerber	351	459	646	998	1600
3. Schæffer	351	459	646	998	1600
4. Winkler	376	460	592	832	1400
5. Seefehlner	214	375	600	937	1500
6. Ritter	351	458	600	800	1200
7. Kherndl	443	498	567	654	766
8. Lippold	433	520	650	867	1300
9. Clericetti	260	371	625	833	1250
10. Séjourné	428	500	600	750	1000
11. Landsberg	448	541	700	840	1050
12. Häsel	373	500	672	749	842
13. —	373	500	672	913	1260
14. Tetmayer	330	445	600	795	1030
15. Launhardt & Weyrauch	350	525	700	875	1050
15 a. —	400	520	640	760	880
16. Udregning af Fibervirkningen efter den i Tekn. Tidsskrift III, p. 80 udviklede Formel:					
Variationen	3 max	$2\frac{1}{4}$ max	$1\frac{1}{2}$ max	$\frac{3}{4}$ max	0
Maximumpaavirkningen	2 max	$1\frac{3}{4}$ max	$1\frac{1}{2}$ max	$1\frac{1}{4}$ max	max
Var.: Max. = $\varphi =$	1.5	1.286	1.00	0.60	0
ϱ i Følge Hjælpetabellen	2.28	1.99	1.66	1.28	1.00
Sikkerhed fra Brudgrænsen 3290 kg.	c. 9.4	c. 7.2	c. 5.0	c. 3.3	c. 2.0
3290: Sikkerhedskoeff.	351	459	643	1000	1600

altsaa nær stemmende med ovenanførte Nr. 3.

$\bar{\pi}/\square$ " i Konstruktionerne, uden Hensyn til de nærmere Omstændigheder, hvorunder Belastningen foregaar ($10\,000 \bar{\pi}/\square$ svarer nøjagtig til $731 \text{ kg}/\square \text{ cm}^2$, hvilken Værdi i Praxis, hvor Metersystemet benyttes, afrundes til $700 \text{ kg}/\square \text{ cm}^2$, saaledes som anført i Tabel II). At denne raa Beregningsmethode i omhyggeligere Konstruktioner efterhaanden er afløst af mere detaljerede Regler for den Fiberpaavirkning, der burde tilstedes i de enkelte Partier af Konstruktionen, sammenfattede i Grupper saasom „Hoved og Fod af Dragere“, „Diagonalstænger“, „Tværdragere“ o. s. v. skal her kun noteres med den Bemærkning, at denne Overgang ikke kan siges at have indført en Væsensforskjel

i Beregningsmaaden, samt at det ikke har været muligt at indordne disse mere detaljerede, men dog endnu summariske Regler under Tabellernes Rubrikker, hvorfor Metoden „ $700 \text{ kg}/\square \text{ cm}^2$ “ opføres som Repræsentant for de dermed beslægtede Metoder. — Tabel II indeholder under 1a og 1b Metoder, som ere opstillede forinden de Wöhlerske Resultater forelaa og navnlig derved betegne et Fremskridt, at de kræve en særlig Beregning af Fiberpaavirkninger for hver enkelt Konstruktionsdel. Begge Tabeller indeholde endelig under Nr. 2—7, 12—16 og til Dels 8 og 9 Metoder, der grunde sig paa Wöhlers og Bauschingers Forsøgsresultater medens Nr. 10 og 11 ere nyere Beregningsmetoder, ved



hvilke Forfatterne uden at støtte sig paa de Wøhlerske Forsøg ved theoretiske Betragtninger have erholdt Resultater, der ikke væsentlig skille sig fra de paa Forsøgene støttede Formler. Da de Wøhlerske (og senere) Forsøg med Flid have udelukket alle andre paa Bæreevnen indvirkende Forhold end netop Belastningsgjentagelserne, vil naturligvis ingen Formel kunne grundes alene paa de Wøhlerske Resultater. Mangfoldige andre Forhold maa regnes med, men da der ikke foreligger Forsøg over disse Forholds Indvirken, maa de til Dels efter Skjøn gjøres uskadelige ved at anvende en vis Sikkerhedskoefficient. Nogle af Formlerne klassificere i saa Henseende de mer eller mindre uberegnelige Bipaavirkninger i to Grupper, af hvilke den ene, indbefattende Stødvirkninger og lignende, kun angaar den bevægelige Belastning, den anden angaar samtlige Paavirkninger saa vel dem, der stamme fra den bevægelige Belastning som dem, der stamme fra Egenvægten og disse Formler forudsætte altsaa, at den bevægelige Last føres i Beregning efter først at være multipliceret med en Koefficient større end 1, foruden at der til sidst beholdes en vis almindelig Sikkerhed inden for de Wøhlerske Resultater. Formel 4 forudsætter f. Ex., at den bevægelige Last multipliceres

ved Jærnbanebroer med	1.3
" Vejbroer	" 1.2
" Bjælkelag og l.	" 1.1
" Tagværker o. l.	" 1.0

Formlerne 2 og 3 forudsætte for Jærnbanebroer Faktoren 1.5 og samme Faktor har været anvendt for Vejbroer. For saa vidt imidlertid den for Formel 4 anførte aftagende Sikkerhedsskala er rigtig, vilde det være rigtigt ved Anvendelsen af Formel 2 og 3 at multiplicere den bevægelige Belastning

ved Jærnbanebroer med	1.5
" Vejbroer	" 1.4
" Bjælkelag o. l.	" 1.3
" Tagværker o. l.	" 1.2

I Tabel II, der er beregnet for Jærnbanebrodele, er for Formlerne 2 og 3 i 1ste og 3die Kolonne opført Fiberpaavirkningerne 351 og 646 kg./□^{cm.} altsaa forudsættedes at resp. 351 · 1.5 = c. 525 og 646 · 1.5 = 970 kg./□^{cm.} kunne komme til at virke og det ses da ved Sammenligning med de Wøhlerske Tal i Løbenummer 0, at den foran omtalte almindelige Sikkerhed i Kolonne 1 og 3 er lidt over 2 ligesom i Kolonne 5 (hvor Tallet 1600 bliver uforandret, da her ikke findes nogen „bevægelig Last“).

Tabel I viser en særlig Art af Forskjel mellem de enkelte Metoder, idet nogle af disse give forskellige Resultater for Arealerne i Ex. 1 og 2 saa vel som for Ex. 3 og 4, uagtet disse Exempler paa en vis Maade ere ens, da de Grænser mellem hvilke Paavirkningerne variere, ere ens. I Ex. 1 og 4 er imidlertid Hviletilstanden — naar ingen tilfældig eller bevægelig Belastning virker — tillige Minimumspaavirkning, medens i Ex. 2 og 3 Hviletilstanden ligger mellem Min. og Max. Afstanden fra Hviletilstanden til Ydergrænserne er altsaa ikke saa stor i disse sidst nævnte Tilfælde, Konstruktionen kommer, om man saa maa sige,

ikke saa meget „ud af sine vante Folder“, idet Belastningen passerer Broen. Det synes derfor rigtigt, naar en Del af Formlerne — Nr. 3, 4, 7, 9, 11, 12, 13 og 16 — give mindre Arealer i Ex. 2 og 3 end i Ex. 1 og 4.

Tabel II giver et fyldigere Overblik over Metoderne; den omtalte Væsenforskjel, eftersom Hvilebelastningen tillige er Minimum eller ej, er der set bort fra, idet Tabellen er beregnet alene under den Forudsætning, at det første er Tilfældet, saaledes som ogsaa de skematiske Figurer over Kolonnerne angive.

Det falder da først i Øjnene, at flere af Metoderne i den 5te Kolonne angive forholdsvis høje Tal for den tilladelige Fiberpaavirkning — indtil 1600 kg./□^{cm.} (= c. 22 000 \mathcal{E} /□^{cm.}) —, men stor praktisk Betydning har dette ikke; thi $\frac{\text{min.}}{\text{max.}} = + 1$ betegner, at Paavirkningen skulde være absolut uforanderlig, et Tilfælde, der ikke vil forekomme i nogen Bro — ja vel næppe i nogen som helst Art af Konstruktioner. Havdes imidlertid et saadant Tilfælde, vilde næppe nogen nære Betænelighed ved den nævnte Fiberpaavirkning, der omtrent svarer til den paagjældende Jærnsorts Elasticitetsgrænse og i og for sig ikke er nogen høj Værdi for denne (cfr. f. Ex. Jærnprøverne (0.3 pCt. Kul) i Tekn. Tidsskr. Aargang XII, Pag. 259).

Allerede i den næste, 4de, Kolonne af Tab. II ere Talstørrelserne betydelig mindre og de forskellige Metoder begynde at stemme nærmere overens end i 5te Kolonne. Endnu mere er dette Tilfældet i 3die Kolonne og her giver ingen af de nyere Metoder en Værdi højere end den ældre Methodes „700 kg./□^{cm.}“ der gjaldt for alle mulige Tilfælde. De tre Metoder, der have 1600 Kg. i sidste Kolonne (1 Nr. 2, 3 og 16), give for Hoved og Fod af store Brodragere, hvis Egenvægt er omtrent lig den bevægelige Belastning, en Fiberpaavirkning = ca. 950 kg./□^{cm.}, og for smaa Dragere, hvis Egenvægt praktisk talt er Nul, en Fiberpaavirkning ca. 650 kg./□^{cm.}, nemlig omtrent de i 3die og 4de Kolonne opførte Tal, medens Diagonaler m. m. faa mindre Paavirkninger.

Gaar man i Tab. II videre mod venstre til Kolonne 2 og 1, saa synke Værdierne yderligere og man finder, at flere af de Formler, der i 5te Kolonne stode som de dristigste, nu ere de aller forsigtigste. Paavirkninger af den paagjældende Art ville i Broer særlig forekomme i Gitterdelene. For andre Arter af Konstruktioner end Broer, og navnlig i Maskinerier, er det i 1ste Kolonne opførte Tilfælde, at Paavirkningen skifter imellem en vis positiv og samme negative Værdi, som bekjendt særdeles hyppig forekommende. (En nærmere Redegjørelse for de Wøhlerske Forsøgsresultaters Anvendelse ved Maskinkonstruktioner foreligger i et Værk af Professor Bach, Stuttgart).

Metoderne l. Nr. 8, 9, 10 og 11, der allerede ere anførte som mer eller mindre uafhængige af de Wøhlerske Forsøgsresultater, ses ikke at skille sig væsentlig fra de øvrige Formler. En Methode, som ikke er medtaget, er opstillet paa Grundlag af den Betragtning, at enhver Formforandring udøver samme skade-

lige Virkning, hvad enten den skriver sig fra virkende Kræfter eller fra andre Aarsager, saasom en Temperaturforøgelse og paafølgende Tilbagegang til den oprindelige Temperatur — vist nok en Antagelse mod Virkeligheden; Metoden giver ikke desto mindre lignende Resultater, som de i Tabellerne opførte. Til Formel l. Nr. 9 knytter sig nogle Betragtninger, der her skulle nævnes, uagtet de ikke i strængere Forstand have nogen Betydning: Forfatteren henleder Opmærksomheden paa, at i *Wöhlers* Forsøgsrækker findes temmelig nær den Grændsepaavirkning, der kan taales ved modsatte Belastninger, at være en Tredjedel af, og den, der kan taales ved en fra Nul udgaaende Belastning, at være Halvdelen af, hvad der kan taales af hvilende Belastning. Dette sidste Forhold er, siger Prof. Clericetti, ganske analogt med, hvad den franske Videnskabsmand, Lægen — for en Tid ogsaa Minister — Paul Bert har fundet angaaende Virkningen af Giftstoffer paa dyriske Organismer. Paul Berts Forsøg ere anstillede paa Hunde, Mus og Spurve med Giftene Kloroform, Bromæthyl og Æther, og han fandt netop, at Halvdelen af den Dosis, der dræber strax, vil være i Stand til at bedøve, saa at den, gjentaget i det uendelige, vil være af samme Virkning som den dræbende Dosis. Bedøvelsen indtræder, idet Organismens Elasticitetsgrændse overskrides. — Ligeledes kjender man, at en i og for sig overvældende Efterretning kan taales, naar den fremkommer efterhaanden og paa en passende Maade, medens den vilde virke maaske dræbende, naar den meddeltes pludselig. Til dette Forhold kan eftervises flere Analogier hos Jærnet, saasom at dets Elasticitetsgrændse ved passende Paavirkninger lader sig forhøje meget betydeligt.

Til Oplysning om, hvorledes Tallene i Tabel II forholde sig til, hvad der i ældre Tid har været brugt, skal anføres følgende Tabel over nogle ældre Jærnbanebroers største Fiberpaavirkning.

Hvor to Tal ere opførte, gjælder det første for Tryk, det andet for Træk. Nu til Dags blive de nævnte Broer til Dels stærkere paavirkede, fordi Lokomotivernes Vægt er tiltagen.

Alle disse Broer ere af Svejsejærn ligesom det Forsøgsmateriale, der danner Grundlaget for Tabel I og II, er Svejsejærn. En Sammenligning kan altsaa direkte ske. Meningerne ses at have være delte, idet Tallene variere adskillig over og under den i Tabel II som typisk opførte Værdi 700 kg./□^{cm.}, der imidlertid nogenlunde kan regnes for Middelværdi. I Sammenligning hermed stemme de forskellige nyere Formler i Følge Tabel II temmelig nøje overens, navnlig naar man erindrer, at 5te Kolonne ikke har praktisk Betydning. Paa det Faktum, at disse ældre Broer endnu eksistere uskadte, vilde det i øvrigt ingenlunde være uberettiget at bygge følgende Ræsonnement: Da Praksis har vist, at Broerne bestaa med indtil saa stor Fiberpaavirkning i Gitterdelene, vil det ogsaa ved ny Konstruktioner være tilladeligt at byde Gitteret en saadan Paavirkning — og Hoved og Fod ville da kunne taale en vis, endnu højere, efter *Wöhlers* Forsøg beregnet Fiberpaavirkning. Konsekvensen heraf vilde blive en

	Bygget af	Aar.	Spændvidde Meter.	kg/□ ^{cm.}
I England:				
Britannia Rørbro	Stephenson.	1846	140	885
Conway Rørbro	—	1847	122	710
Windsor Bro	Brunel.	1849	56	330
Bro over Wye v. Chepstow	—	1850	91	340. 410
— — Trent v. New Wark (Warren).	Cubitt.	1851	79	850
Crumlin Viaduct (Warr.)	Lidel & Gordon.	1853	46	693
Boyne Broen v. Drogheda	Barton.	1855	80	790
Tamar Broen v. Saltash	Brunel.	1858	139	653
I Frankrig:				
Bro ved Asnières	Flachat.	1852	31	500
— — Langon	—	1855	75	600
— — Garonne v. Bordeaux	—	1859	71	560
I Tyskland m. fl. L.:				
Bro over Isar v. Grossheselehe	Pauli, Werder.	1857	56	720
— — Rhinen v. Mainz	Gerber.	1857	105	820
— — Weichsel v. Dirschau	Lentze.	1857	121	684
— — Nogat v. Marienburg	—	1857	98	684
— — Eipel og Gran (öst. Statsbane)	Ruppert.	1857	57. 55	646
— — Rhinen v. Waldshut	Gerwig.	1858	52	600
— — Inn v. Passau	—	1860	90	686. 847
— — Rhinen v. Köln	Lohse.	1860	98	684
— — Brahe v. Czersk	Schwedler.	1860	25	492. 575

meget betydelig Materialbesparelse ved Anvendelsen af de *Wöhlerske* Resultater. Men ingen af de nyere Formlers Forfattere have ønsket at gøre dette Ræsonnement gjældende: Formlerne føre derfor ikke til nogen synderlig Besparelse i Konstruktionens Totalvægt, idet vel Hoved og Fod blive noget lettere, men Diagonalerne noget sværere, end de ældre Beregningsmaader vilde give. Hvad der stræbes efter er altsaa kun det Formaal, at den til Konstruktionen medgaaende Jærnmængde anvendes mere rationelt saa at alle de enkelte Dele, netop ved at faa forskjellige Fiberpaavirkninger, erholde samme Modstandsevne.

Ved Bygningen af Broen over Firth of Forth, der allerede tidligere er berørt, have Konstruktorerne *Fowler* og *Baker* anvendt Flusstaal eller som det i Følge den nyere Nomenklatur maaske skulde benævnes: Flusjærn, idet det er Siemens-Martin Produkt med en Brudgrænse af kun 4700 kg./□^{cm.}. For dette Materiale er

Modstandsevnen ved hyppig forekommende Variationer af Paavirkningen mellem Nul og en højere Grænse	3100 kg.
Samme ved sjældent forekommende Variationer (Vindtryk)	3600 —
Modstandsevnen ved hyppig forekommende Variation mellem ligestore modsatte Paavirkninger	1700 —
Samme ved sjældent forekommende Variationer (Vindtryk)	2370 —,
og idet Sikkerheden er sat = 3 fremkommer Fiber-	

paavirkningerne 1033 og 1200 samt 567 og 790 for de nævnte Tilfælde (Board of trades for nævnte Fordring var overalt $4700 \cdot \frac{1}{4} = c. 1200 \text{ kg./}\square\text{cm.}$) Forsøgsresultaterne 1700, 3100 og 4700 kg ses at svare til Tallene i 1ste, 3dje og 5te Kolonne af Tabel II og den anvendte Sikkerhed 3 svarer nærmest til den, der f. Ex. er anvendt i Formlerne 1. Nr. 2, 3 og 16, hvor der, som det erindres, først indføres en Sikkerhedsfaktor af 1.5 for den bevægelige Last og dernæst en Sikkerhed af lidt over 2 fra Forsøgsresultaterne, saa at den samlede Sikkerhed er c. 3.

De efter de nyere Formler beregnede Tværnsnitsarealer gjælde direkte for trækkende Kræfter, men for trykkende Kræfter kun saaledes, at deri ikke er medregnet den skadelige Indflydelse, som en meget stor Længde af Konstruktionsdelen kan medføre ved at gøre Sidebøjning mulig. Afværgelsen af saadan Bøjning er et af de Wöhlerske Forsøgsresultater ganske uafhængigt Spørgsmaal; det har fremkaldt særlige Formler, som vi imidlertid ikke her skulle gaa ind paa, da Beregningsmaaderne, støttede paa Wöhlers Resultater, meget vel lade sig anvende i Forbindelse med de ældre Sidebøjningsformler, der, naar Arealet foreligger beregnet under Forudsætning af, at Konstruktionsdelen er „kort“, give Midler i Hænde til at bestemme den Forøgelse af Arealet, som Længden foranlediger. Angaaende Sammentrykning maa det i øvrigt bemærkes, at de Wöhlerske Forsøg hidtil kun ere naaede til at underkaste Forsøgsstykkerne en mellem samme positive og negative Værdi skiftende Paavirkning ved at udsætte Stykket for Bøjning frem og tilbage. Direkte Trykforsøg ere derimod hidtil ikke gjorte, idet Bestræbelserne for at konstruere Maskiner til saadanne Forsøg ere strandede paa praktiske Vanskeligheder. Man tør imidlertid slutte, at de om Træk indvundne Erfaringer ogsaa lade sig anvende ved trykkende Kræfter. Heller ikke om forskydende Kræfter foreligger der Forsøg.

Tallene i Tabel II kunne benyttes til at kaste Lys over et, i øvrigt hvad den praktiske Anvendelse angaar vel kjendt Forhold, nemlig at for saa vidt det er muligt at indsætte Konstruktionsdele med Spænding, da bør det gøres, hvilken Regel indbefatter den mere specielle, at Møtriker bør trækkes godt til. — Tænke vi os nemlig to Stykker samlede med en Bolt, der vel er skruet til uden dog at være „trukket til“, saa ville Stykkerne, naar en Kraft kommer til at virke, fjærne sig lidt fra hinanden, idet saavel Boltens strækkes lidt som ogsaa Stykkernes Materiale sammentrykkes lidt under Hovedet og Møtrikken. Ophører Kraften at virke, gaa Stykkerne tilbage til Berøring og Boltens vil saaledes blive udsat for Paavirkninger skiftende mellem Nul og en vis højere Grænse. Hvis man derimod den første Gang, medens Kraften virker, drejer Møtrikken, saa at Stykkerne klemme, saa vil det, at den ydre Kraft ophører at virke, ikke kunne aflaste Boltens: Dens Maximumpaavirkning vil være den samme som før, men Minimum vil ikke længere være Nul, men en tæt ved Maximum liggende Værdi. Vi nærme os saaledes til det i Praxis ellers saa sjældne Tilfælde, at

Paavirkningens Variation er Nul, i hvilket Tilfælde man, som Tabel II, Kolonne 5, angiver, kan byde en forholdsvis høj Fiberpaavirkning, omtrent til Elasticitetsgrænsen. Møtrikken bør altsaa trækkes til, saa at den spænder Boltens til hen imod denne Grænse. Exempler af denne Art findes i Mængde, og det bruges jo ogsaa stedse at spænde Hænge- og Sprængeværker og Andreaskors; men hvor stor Betydning dette har for Holdbarheden, lader sig vist nok kun paavise ved Hjælp af de Wöhlerske Forsøgsresultater.

Saavel i Tabel I som i Tabel II er under 1. Nr. 16 foretaget nærmere Undersøgelser af den i Aargang III angivne Formel (altsaa en Modifikation af Schæffers, 1. Nr. 3, der atter er en Modifikation af Gerbers, 1. Nr. 2) for at konstatere, at dens Resultater ikke ere paavirkede af den alene af praktiske Hensyn foretagne Omformning (Anvendelighed for Regnestok og Reduktion af Hjælpetabellen). Denne Formel tør altsaa her fremdeles anbefales til Brug for dem, der ville tage Hensyn til de Wöhlerske Resultater og den Gerberske Parabel.

I den foregaaende Undersøgelse ere alle Talstørrelserne for de nyere Methoders Vedkommende støttede paa de i Tabel II 1. Nr. 0 opførte Wöhlerske Forsøgsresultater for en bestemt i 1857 leveret Jærnsort (en „Svejsejærnsort“), hvorved det er blevet muligt at anstille direkte Sammenligninger med de ældre Brokonstruktioner, der alle ere udførte af Svejsejærn. Det er imidlertid allerede paa det nævnte Sted af Aargang III anført, at Formlen ligeledes gjælder for Staal med behørig Ændring af Koefficienterne i Overensstemmelse med de Wöhlerske Forsøg med Staal. Beregningen sker altsaa saaledes:

Det søgte Tværnsnitsareal = $\frac{\text{Maximumpaavirkningen} \times \varrho}{\text{den for Hvile tilladelige Paavirkning}}$, hvori

- 1) Maximumpaavirkningen er den højeste Værdi, der kan fremkomme ved Samvirken af Egenvægten og af den med en vis Sikkerhedskoefficient (1.5, 1.4, 1.3 el. 1.2) multiplicerede bevægelige Last.
- 2) ϱ er en af Belastningsmaaden afhængig Koefficient som bestemmes

$$\text{for Smeddejærn} = \frac{3}{4} \varphi + \frac{1}{4} \sqrt{9 \varphi^2 + 4 (2 - \varphi)^2}$$

$$\text{for Staal} = \frac{9}{10} \varphi + \sqrt{\frac{81}{100} \varphi^2 + \frac{1}{4} (2 - \varphi)^2}$$

idet $\varphi = \frac{\text{Var.}}{\text{Max.}}$ eller Forholdet mellem den ovennævnte Maximumpaavirkning og den paa tilsvarende Maade (med Sikkerhedskoefficient) beregnede største indtrædende Variation. Til at bestemme ϱ af φ benyttes med Fordel en Hjælpetabel.

3. Den for Hvile tilladelige Paavirkning er theoretisk taget „Brudbelastningen“, men i Praxis vil man i dens Sted bruge en Værdi inden for Elasticitetsgrænsen, der faas idet en Sikkerhedsgrad fra Brudbelastningen af omtrent 2 indføres. At der ved Træk og ved

Tryk kan blive Tale om at benytte forskellige Værdier for den tilladelige Paa-virkning, skal her bringes i Erindring; saaledes vil Flusmateriale ligesom Støbejern i Regelen kunne taale stærkere Tryk end Træk.

Medens den under 3) omtalte Størrelse — ligesom ved de ældre Beregningsmetoder — maa bestemmes for hver Materialsort, ses den under 2) omtalte Bestemmelse af ϱ som Funktion af φ at være ens for alle Smeddejærnsorter ligesom for alle Staalsorter. Strængt taget er dette naturligvis ikke Tilfældet; for hver Materialsort har den Gerberske Parabel, som ligger til Grund for Udregningen under 2), sine særlige Koefficienter og ved større Materialforbrug vilde man vel altid lade anstille særlige Forsøg med Materialet og deraf beregne det specielle Udtryk for ϱ (paa den i Aargang III pag. 81 angivne Maade). Men ved mindre Forbrug vil man vel som oftest indordne sig under den almindelige Regel. Til Oplysning om, hvilken Unøjagtighed man derved kan risikere, skal det derfor undersøges, hvor vidt de af *Bauschinger* anstillede Forsøg slutte sig til de paa Wöhlers Forsøg byggede under 2) angivne Udtryk for Smeddejærn og Staal.

Bauschingers Varighedsforsøg. Tallene ere kg/\square^{cm} .

Materiale.	Brudlast, altsaa ved Variation Nul.	Maximumpaa-virkning, naar Minimums-paav. = Nul.	Ved ligestore modsatte Paa-virkninger, indir. bestemt.	Samme, naar fuld Overensstemmelse med de opst. Formler skulde opnaas.
a. Smeddejærn.				
1. Svejsejærnsplade	3480	2000	1090	1160
2. Bessemerflusjærnsplade	4360	2400	1300	1450
3. Valset Fladjærn	4050	2200	1190	1350
4. — — — — —	4020	2400	1320	1340
5. Thomasflusjern (Kjedelpl.)	4050	2400	1320	1350
b. Staal.				
6. Thomasstaal (Krumtap)	6120	3000	1600	1700
7. — (Jærnbaneskiner)	5940	2800	1480	1650

Naar det erindres, at man ved de nyere Formlers Anvendelse benytter en væsentlig paa et Skjøn beroende Sikkerhedsgrad af „omtrent 2“, kunne de imellem Tallene i sidste og næst sidste Kolonne stedfindende Uoverensstemmelser af omtrent en halv Snes Procent, vel ikke kaldes betydelige.

Det vil i denne Sammenhæng ikke være uden Interesse at erfare, at i Følge et i Foraaret 1888 udgaaet Reglement for Benyttelsen af de kongelige Forsøgsanstalter i Berlin er disses Afdeling B for Udførelsen af Varighedsforsøg udstyret med 10 Stk. Wöhlerske Forsøgsmaskiner, der hver ere indrettede til at tage flere Prøvestykker paa én Gang, samt 1 lignende Maskine af nyere Konstruktion, og at der kan forventes anskaffet flere Maskiner til Varighedsforsøg med Slagvirkninger — altsaa et nyt Omraade for Undersøgelser. Alle disse Maskiner staa efter en vis Tarif til Publikums Disposition.

IV.

Beregningsmaaden efter den anførte Formel er i sin praktiske Anvendelse ikke synderlig vidtløftigere

end den ældre Methode. Forskjellen er jo kun, at medens man tidligere paa Forhaand fastsatte en Sikkerhedsgrad eller maaske havde en uden nærmere Theori fastslaaet Tabel over Sikkerhedsgraden i Konstruktionens forskellige Hovedpartier, maa man nu ved en Tabel (over ϱ som Funktion af φ) bestemme „Sikkerhedsgraden“ for hver enkelt Konstruktionsdel. Det tør ikke desto mindre antages, at en i det mindste passiv Modstand vil rejse sig fra „praktiske Folk“ for hvilke Beregningen efter Formel „8000, 10 000 eller 12 000 π/\square “ har den ubestridelige Fordel, at Formlen altid haves paa redé Haand. Beregningen af Jærnkonstruktioner er imidlertid i Reglen en saa vigtig Sag, med Risiko for Medmenneskers og lejlighedsvis eget Liv og Lemmer, at Bekvemmelighedshensyn maa vige, og Sagen vinder da ogsaa efterhaanden Terræn i Udlandet. Hvor stor Interessen derfor er i Tyskland giver allerede Tabel I og II Bevis for ved det store Antal Formler, som ere foreslaaede af tyske Videnskabsmænd og det er ikke alene Theoretikere, men ogsaa Praktikere, der have sluttet sig til Methoden, Som Exempel herpaa skal det anføres, at allerede den i 1887 udkomne 13de Udgave af „Des Ingenieurs Taschenbuch“ (Hütte) indeholder de Wöhlerske Hovedlærdomme samt Anvisning paa Gerbers, Winklers og Launhardts Metoder, men samtidig dermed findes i Tabellen over forskellige Materialiers Styrke endnu en Rubrik for „Tilladelig Belastning“ (for Smeddejærn f. Ex. angivet som 700 kg/\square^{cm} ved Tryk og Træk, 525 kg/\square^{cm} ved Forskydning.) Men i den nu udkommende 14de Udgave er denne Rubrik bortfaldet — i god Overensstemmelse med de Wöhlerske Forsøgsresultater, ifølge hvilke det ikke med et enkelt Tal lader sig sige, hvad der er tilladelig Paa-virkning, idet dette afhænger af Belastningsforholdene. Ogsaa i den for Tiden udgaaende 2den Udgave af det store Værk „Handbuch der Ingenieurwissenschaften“, som efter den oprindelige Udgiver Heusinger von Waldeggs Død redigeres af en Kreds af bekendte Forfattere, er der i Afdelingen „Brückenbau“ tage uforbeholdent Standpunkt for de nye Formler. Lige-saa i det tilsvarende hollandske Værk „Waterbouwkunde“, der trods sin Titel medtager Brobygning og alle andre Grene af Ingeniørvidenskaben. For Englands Vedkommende er det allerede antydnet, hvilke Principper der ere benyttede ved den store Bro over Firth of Forth. Det Land, der har taget mest bestemt Position overfor de nyere Formler er Bayern, hvor Gerbers Methode under 13de Febr. 1878 officielt er autoriseret. Andre Steder har man benyttet Formlerne uden saadan Autorisation, undertiden ogsaa med en vis Forbeholdenhed, som f. Ex. ved Bygningen af to Broer i Holland (over Rhinen ved Rhenen og over Maas ved Heumen), der ere beregnede efter de nyere Formler, men saaledes, at ingen Fiberpaa-virkning maatte overskride, hvad en ældre Beregningsmaade vilde have givet — et Kompromis, der kun ser tiltalende ud for saa vidt som det vidner om stor Forsigtighed. I Amerika finde de ny Formler i Følge velvillig Meddelelse fra en dansk Kollega, der i de sid-

ste Aar har arbejdet i to større Brobygningsforretninger ved Filadelfia, meget udstrakt Anvendelse, navnlig Launhardt-Weyrauchs Formel med forskellige smaa Modifikationer. En saadan bruges f. Ex. af Pensylvania Railroad Company — det største private Jærnbaneselskab i Verden — der i Amerika er anset for at være en meget paalidelig og kompetent Institution. At Methoden, der grunder sig paa tyske Forsøg og først er sat i System af tyske Videnskabsmænd, har mødt Modsigelse i Frankrig, har maaske andre Grunde end de saglige. Protest er vist nok kun for saa vidt berettiget, som man ikke tør slaa sig til Ro med de Fremskridt i Beregningsmaaden, som dermed ere gjorte. Der existerer endnu mangfoldige Spørgsmaal, der kunde ønskes nærmere undersøgte, saa at man efterhaanden kunde indskrænke den Lakune, over hvilken man nu maa klare sig ved til Dels efter Skjøn at indføre en „Sikkerhedskoefficient“*). Men det Materiale, der allerede er vundet og sat i System, synes der ingen Anledning til at lade ubenyttet her til Lands, hvor det tør antages, at de lovgivende Myndigheder ville forholde sig neutrale, saa at de sagkyndiges eget Initiativ vil være bestemmende for, om Methoden skal benyttes eller ej. At der ikke tilsigtes synderlig pekuniær Fordel derved, er allerede nævnt. Hvad der taler derfor er kun, at der erholdes ensartet Holdbarhed for alle Konstruktionens Dele og derhos forøget Holdbarhed for den som Helhed, samt at Konstruktorens personlige Ansvar lettes, naar han kan følge en fra andre Lande anerkjendt og prøvet Methode. —

Foruden de allerede nævnte Kilder:

1. Handbuch der Ingenieurwissenschaften (hos Engelmann, Leipzig) og
 2. Hütte (Des Ingenieurs Taschenbuch) samt
 3. Waterbouwkunde (hos Gebroeders van Cleef, s' Gravenhage)
- skulle følgende Værker særligt nævnes:
4. Bach, Die Maschinenelemente, ihre Berechnung und Konstruktion mit Rücksicht auf die neueren Versuche (Stuttgart, 1881).
 5. Bauschinger, I., Mittheilungen aus dem Mech.-Techn. Laboratorium der k. techn. Hochschule in München. Hidtil 14 Hæfter af hvilke de 8 første ere Særtryk af Tidsskriftartikler (München, Ackermann 1873—1888).
 6. Claxton Fidler, T., A practical treatise on bridge construction (London, 1887).
 7. Unwin, W. C., The Testing of Materials of Construction (London 1888).
 8. Weyranch, I. I., Die Festigkeitseigenschaften und Methoden der Dimensionenberechnung von Eisen und Stahlconstructionen (Leipzig 1888).
 9. Winkler, Wahl der zulässigen Inanspruchnahme der Eisenconstructionen (Wien 1877).
 10. Wöhlers Artikler i Zeitschrift f. Bauwesen 1860, 1863, 1866 og 1870, sidst nævnte tillige som Særtryk (Berlin.)

Oversigt

over Fremgangsmaaden ved Beregning af Jærn- og Staaldele med Benyttelse af de Wöhlerske Forsøgsresultater.

1. Den bevægelige Belastning føres i Beregning efter at være multipliceret med Faktoren for Jærnbanebroer 1.5
 „ Vejbroer 1.4
 „ Bjælkelag og l. 1.3
 „ Tagværker og l. 1.2
2. Egenvægten føres i Beregning med sin virkelige Værdi.
3. Som Komposanter af 1 og 2 erholdes altsaa en paa en vis Maade fingeret Værdi, Max., for Paavirkningens Maximum; tillige bestemmes den tilsvarende (fingerede) Værdi, Var., for Paavirkningens Variation, saa at man kan beregne $\varphi = \frac{Var.}{Max.}$. Alle Paavirkninger opføres med Fortegn, Træk som +, Tryk som ÷ og Forskydning som ||.

4. Formlen er: $Arealet = \frac{Max. \varrho}{Z}$, hvori:

5. Faktoren ϱ er en Funktion af φ , som, for saa vidt der ikke er anstillet særlige Forsøg med Materialsorten, er fremstillet i nedenstaaende Dobbelttabel. φ og dermed ogsaa ϱ bliver ens, hvad enten Max. og Var. ere udregnede i kg. eller i \bar{u} .

*) Med et amerikansk Udtryk: Factor of ignorance.

$\frac{Var.}{Max.}$	φ	Diff.	$\frac{Var.}{Max.}$	φ	Diff.	$\frac{Var.}{Max.}$	φ	Diff.	$\frac{Var.}{Max.}$	φ	Diff.
Tabel for Jærn.											
0.00	1.00	3	0.50	1.22	6	1.00	1.66	11	1.50	2.28	14
0.10	1.03	4	0.60	1.28	8	1.10	1.77	12	1.60	2.42	14
0.20	1.07	4	0.70	1.36	9	1.20	1.89	12	1.70	2.56	14
0.30	1.11	5	0.80	1.45	10	1.30	2.01	13	1.80	2.70	15
0.40	1.16	6	0.90	1.55	11	1.40	2.14	14	1.90	2.85	15
0.50	1.22	6	1.00	1.66	11	1.50	2.28	14	2.00	3.00	15
Tabel for Staal.											
0.00	1.00	5	0.50	1.33	10	1.00	1.93	15	1.50	2.73	17
0.10	1.05	5	0.60	1.43	11	1.10	2.08	15	1.60	2.90	17
0.20	1.10	6	0.70	1.54	12	1.20	2.23	16	1.70	3.07	17
0.30	1.16	8	0.80	1.66	13	1.30	2.39	17	1.80	3.24	18
0.40	1.24	9	0.90	1.79	14	1.40	2.56	17	1.90	3.42	18
0.50	1.33	9	1.00	1.93	14	1.50	2.73	17	2.00	3.60	18

6. Nævneren Z er den Fiberpaavirkning, der tør bydes Materialet ved absolut rolig Belastning. Denne Fiberpaavirkning vælges saaledes, at man holder sig inden for Elasticitetsgrænsen og mindst faar Sikkerhedsgræden 2, regnet fra Brudgrænsen, navnlig ved de homogene Materialier. Værdien for Z vil efter Omstændighederne være at sætte forskjellig for Tryk og for Træk ligesom ogsaa for Forskydning.

7. Er Paavirkningens Max. negativ (Tryk), maa det særlig undersøges, om det fundne Areal skal forøges paa Grund af Faren for Bøjning.

8. Exempler paa Beregning af Stykker af en Jærnbanebro, konstrueret enten af et Svejsejærn med Brudbelastning 3290 kg./□^{cm.}, for hvilket Z vælges = 1600 kg./□^{cm.}, eller af Flusjærn med Brudbelastning 4700 kg./□^{cm.}, for hvilket Z vælges = 2000 kg./□^{cm.}, eller endelig af et Flusstaal med Brudbelastning 8400 kg./□^{cm.}, for hvilket Z vælges = 3200 kg./□^{cm.}.

Ex. a. Egenvægten giver et Træk af 10 000 kg., Belastningen et Træk af 20 000 kg., der altsaa opføres med $20\ 000 \times 1.5 = 30\ 000$ kg. Følgelig er Var. = 30 000 kg., og Max. = + 40 000 kg.

Ex. b. Egenvægten giver et Tryk af 20 000 kg., Belastningen et Træk af 60 000 kg., der altsaa opføres med $60\ 000 \times 1.5 = 90\ 000$ kg. Følgelig er Var. = 90 000 kg., og Max. = + 70 000 kg.

Konstruktionselement	+	Maxim	Varia	φ		z er valgt	Max. z i	Anm.	
				Var.	Max.				
		kg.	kg.			kg/□ ^{cm.}	Areal i □ ^{cm.}		
a	+	40 000	30 000	0.75	1.40	1600	35.0	for Svejsejærn.	
					1.40	2000	28.0		Flusjærn.
					1.60	3200	20.0		Flusstaal.
b	+	70 000	90 000	1.28	1.99	1600	87.0	Svejsejærn.	
					1.99	2000	70.0		Flusjærn.
					2.36	3200	52.0		Flusstaal.



