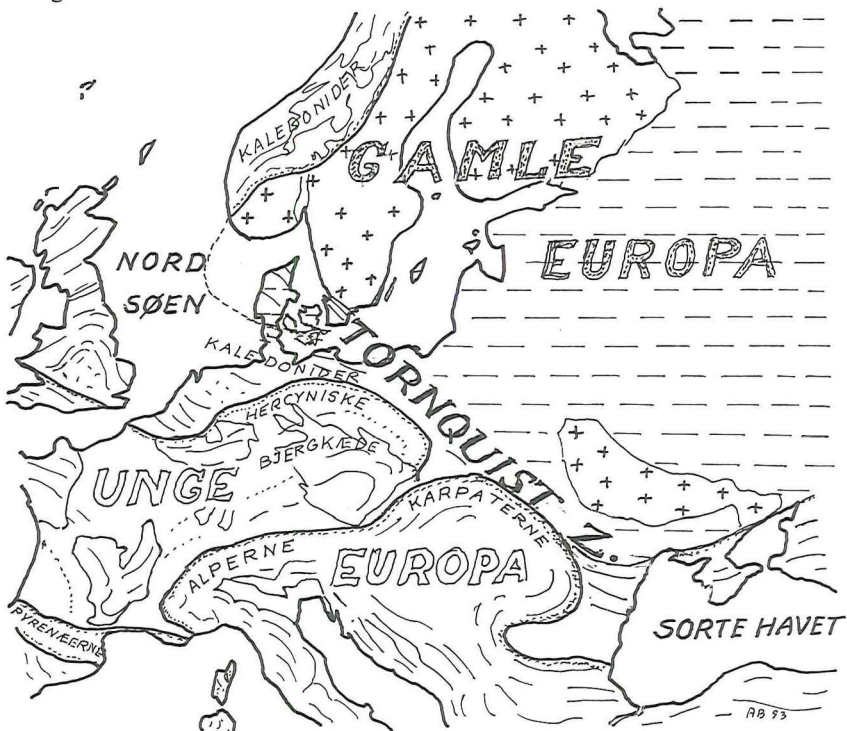


TORNQUIST →← ZONEN

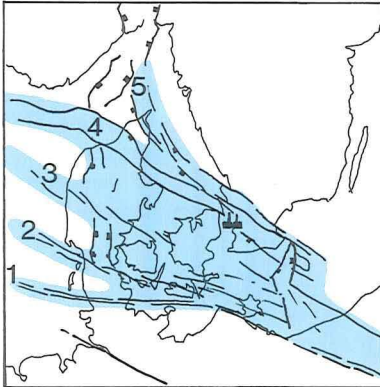
af Asger Berthelsen

Der er vel næppe noget træk i Europas geologi, der har været så omdiskuteret som Tornquist Zonen, den brudzone, der deler Europa skråt over i NV-SØ-lig retning fra Nordsøen til Sortehavet. Tornquist Zonen anses af mange geologer og geofysikere for at være en af de vigtigste tektoniske grænser i Europa, nogle mener endda den vigtigste. De tolker Tornquist Zonen som grænsen mellem det 'Gamle Europa' med Prækambrisk skorpe og det 'Unge Europa' med skorpe præget af Kaledonisk, Hercynisk eller Kimmerisk og Alpin bjergkædefoldning, se fig. 1.



Figur 1. Tornquist Zonen adskiller Gamle Europa fra Unge Europa.

Men når det kommer til mere præcist at angive, hvor Tornquist Zonen skal indtegnes på landkortet, hører enigheden op. Ikke mindst hvad angår forløbet af den nordvestlige del af Tornquist Zonen. Nogle forfattere trækker den syd om Danmark – andre gennem eller nord om Danmark, og andre igen slår alle disse linier, der spreder sig vifteagtigt over Danmark, sammen til et system (fig. 2). På engelsk kaldes denne vifte 'the Tornquist Fan', mens den på dansk passende kunne benævnes 'Tornquist's Hånd'. Bemærk, at Barsebäck er placeret på livs-linien midt i håndfladen!



Figur 2. 'Tornquist's Hånd', et vifteformet brudsystem fra Karbon–Perm tiden. Tommelfingeren peger mod Oslo fjorden, de andre fingre mod Nordsøen.

Denne del af Tornquist Zonen blev først anlagt på overgangen mellem Karbon- og Permtiden, for ca. 290 millioner år siden, det vil sige efter, at det tidlige Palæozoiske Europa var kollideret med Gondwana og den Hercyniske foldning havde kulmineret i Mellem- og Sydeuropa.

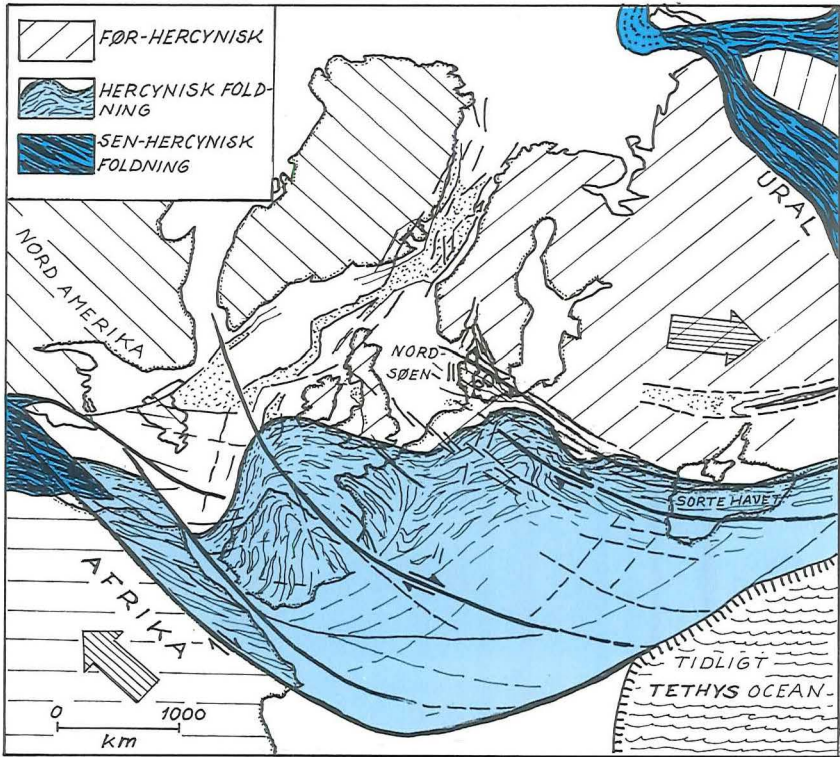
Hermed var den Hercyniske bjergkædefoldning dog ikke slut alle steder. Den kulminerede senere i forbindelse med nye kollisioner i Ural og Appalacheerne. Herved kom det mellemliggende Europa 'i klemme', fig. 3. Det medførte, at der på overgangen mellem Karbon- og Permtiden udvikledes et regionalt system af brud- og forkastningszoner. De gennemsatte ned NV–SØ-lig retning Mellem-europas Hercyniske foldebælte og dets nordlige forland, hvortil også Danmark hørte.

Højeregående sideværts bevægelser i forkastningszonerne var kombineret med normalforkastninger og åbning og indsynkning af NNØ–SSV orienterede gravsænker, som Skagerrak–Oslo graven og Rønne graven, fig. 4. Forskydningerne i forlandet førte også til udbredt magmatisk aktivitet, men det er en helt anden historie.

Den NV–SØ gående forkastningszone, som fra det sydlige Polen skar sig langt ind i det nordlige forland, blev starten på Tornquist Zonen, fig. 4. Den gennem-satte dels Kaledonisk foldet undergrund i de Nordtyske–Polske Kaledonider,

For at kunne diskutere zonen forløb, må vi først gøre os klart, hvad det egentlig er, vi taler om. Hvornår og hvordan blev Tornquist Zonen dannet?

Vi vil i det følgende nøjes med at se på den del af Tornquist Zonen, der ligger nordvest for Karpaterne og som strækker sig gennem Polen, under Østersøen og gennem Skåne og Danmark til den østlige Nordsø – syd om Sydnorge.

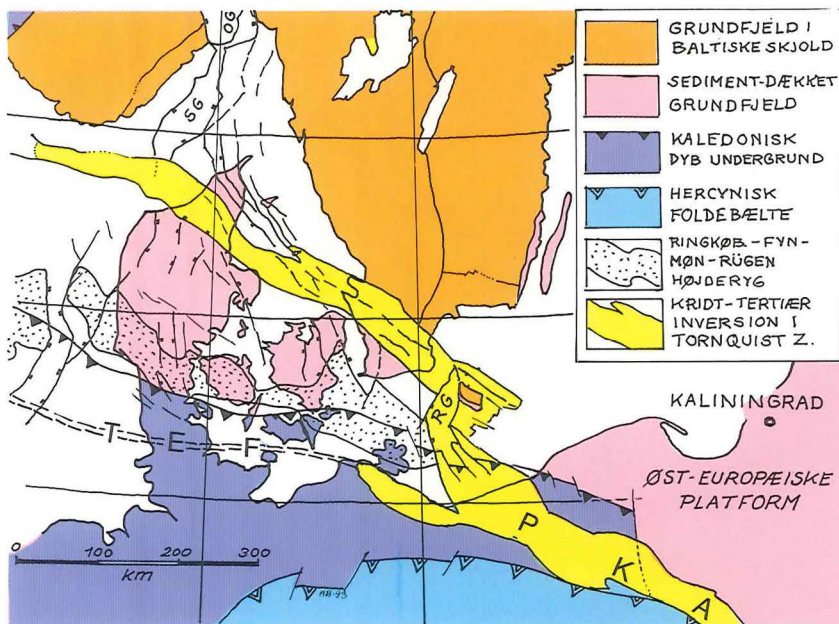


Figur 3. Europa 'i klemme' bliver opdelt af brud og forkastninger. De brede pile angiver de store pladers relative bevægelse, som bevirkede store sideværts forskydninger i det Hercyniske foldebælte og dets nordlige forland. Frit tegnet efter P. Ziegler, 1990.

og dels sedimentdækket Prækambrisk grundfjeld nord for den Kaledoniske deformations front. De Nordtyske—Polske Kaledonider var blevet dannet i løbet af Silur tid, for ca. 430—400 millioner år siden. Denne noget mere sagnagtige tidlig Palæozoiske udvikling fortjener imidlertid sin egen beretning.

Da Tornquist Zonen blev anlagt på overgangen mellem Karbon og Perm, 'stjal' det Unge Europa en del af Gammel Europa. Det Unge Europa tilranede sig den Prækambriske skorpe, som lå syd for Tornquist Zonen og nord for den Kaledoniske skorpe. Det betød, at størstedelen af det danske område nu blev tvunget til at marchere i takt med Mellemeuropa!

Denne del af det danske område havde ved slutningen af Prækambrisk tid udgjort en del af det Baltiske Skjold. Men senere, i Silurtiden, da de Nordtyske—Polske Kaledonider dannedes, blev der udviklet et Kaledonisk forlandsbassin

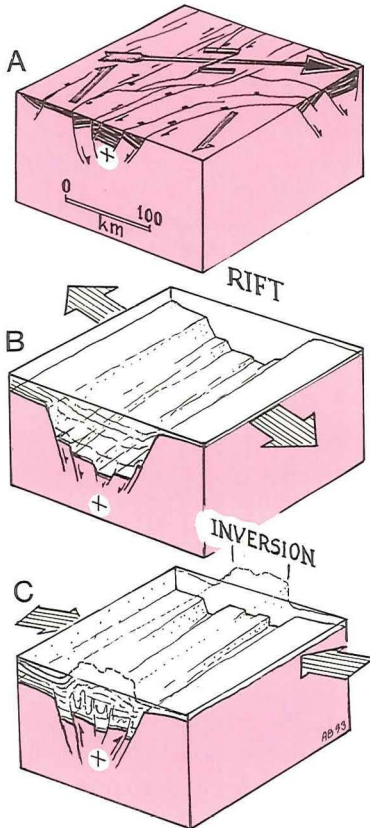


Figur 4. Undergrundens strukturer omkring Tornquist Zonen. T-E-F er den Trans-Europæiske Forkastning. SG og OG angiver Skagerrak- og Oslo gravsænknerne. I Polen kaldes den 'inverterede' (opbulede) Tornquist Zone for det Pomeranske-Kujawiske Antiklinorium (PKA).

over Danmark. Dette blev nu sønderstykket af forkastninger, og største delen af sedimentfyldet i bassinet blev bortroderet. Nogle steder er dog, nedforkastet i grundfjeldet, endnu bevaret 3–4 km Kambro–Silur, mest øvre Silure, aflejringer – som et sidste levn fra det Kaledoniske forlandsbassin, fig. 5 C.

Samtidig med at Tornquist Zonen anlagdes på overgangen mellem Karbon og Perm, udvikledes andre forkastningszoner. Som vist i fig. 2 blandt andet Vinding (3) og Rømø (2) zonerne, der nu begrænser Ringkøbing–Fyn–Møn højderyggen, og den Transeuropæiske Forkastning (1), som angiver den sydligste forekomst af oprindelig Prækambrisk skorpe i den dybere undergrund.

Ringkøbing–Fyn–Møn højderyggen kom i løbet af Permtiden til at adskille to store indsynkningsområder, fig. 4. Det sydlige, det Nordtyske bassin, startede indsynkningen i nedre Perm, hvor den gamle Transeuropæiske Forkastning (T.–E.–F.) fortsat var aktiv. Nord for højderyggen, i det Norsk–Danske bassin, bredte Zechstein havet sig i yngre Perm ind over det nordlige Danmark og efterlod her op til 1 km tykke saltaflejringer, som delvist overlappede og dannede et 'læg' over Tornquist Zonen.



Figur 5. Forenklede blokdiagrammer, der viser Tornquist Zonens udvikling.

A: I Karbon–Perm udvikles 'Tornquist Hånden', hvorved Kambrisk-Silure sedimenter nedforkastes i grundfjeldet. De forskellige linier i 'hånden' og de gamle sedimenter er udeladt i blok B og C. I Øvre Perm bredte Zechsteinhavet sig ind over det planerede landskab.

B: I løbet af Trias, Jura og Kridt dannes et dybt sedimenttrug ved rift-agtig strækning af den allerede sønderstykkede undergrund.

C: På overgangen Kridt–Tertiær indtræffer inversion, hvorved indholdet i sedimenttrugene løftes op i langstrakte 'buler'.

Bemærk de små kors i blokkens venstre forkant. I blok B og C sidder de på samme sted i jordskorpens som i blok A, og deres forskellige placeringer viser de op-ned og ned-op bevægelser, som indtraf ved riftdannelsen og inversionen.

I løbet af Trias og Jura begyndte Superkontinentet Pangaea, der var blevet samlet under de Hercyniske kollisioner, imidlertid at blive 'brudt op', fig. 6. Samtidigt hermed udvikledes Kimmeriske foldebælter omkring Pangaea. Det førte til nye bevægelser i de forkastningszoner, der var dannet i Karbon–Perm. Omkring Tornquist Zonen udvikledes et rift-lignende basin, hvor kilometer-tykkede sedimentserier afsattes ovenpå Zechsteinsaltet og underliggende nedre Permiske aflejringer, fig. 5 B. Nu blev der for alvor lagt lag på Tornquist Zonen.



Figur 6. Pangaea's opbrud i Yngre Jura for 140 millioner siden. Superkontinentet deles op af sedimentfyldte rifts og gravsænker, blandt andet hvor Tornquist Zonen (TZ) udvikledes. Kimmeriske foldestrøg (gult) indtræffer samtidigt langs Pangaea's omkreds. Frit omtegnet efter P. Ziegler, 1990.

I løbet af Kridttiden begyndte der efterhånden at herske mere ro, og et tykt tæppe af Skrivekridt aflejredes. Men Skrivekridtet var alligevel ikke lige tykt overalt. Der var fejet noget ind under tæppet: Tornquist Zonen!

Mod slutningen af Kridttiden var der lagt et tykt og solidt låg over Tornquist Zonen. I Danmark var den dækket af op til 10 km sedimenter, i Polen endnu mere! Skulle man så ikke tro, at den zone var så godt begravet, at man kunne glemme alt om den? Sådan kom det dog ikke til at gå.

Tornquist Zonen blev vakt til live igen! Sidst i Kridttiden og på overgangen til Tertiær, for omkring 60 millioner år siden, blev Danmark nemlig igen tvunget til at marchere i takt med 'Europa syd for os'. Denne gang var det den Alpine kollision mellem Europa, den Adriatiske plade og Afrika, der bestemte takten.

De spændinger, der opstod i pladerne under og efter kollisionen forplantede sig langt nord på i Europa, hvor de udløste fornyede bevægelser i de gamle brud- og forkastningszoner. Men hvorfor blev der netop 'lette på låget' over Tornquist Zonen?

Det skyldtes sikkert, at den gamle Prækambriske skorpe langs med Tornquist Zonen var blevet særlig medtaget, opdelt, strakt og 'fortyndet'. Tornquist Zonen gennem Skåne, Kattegat og skråt over Jylland repræsenterede ydermere den sidste chance for udløsning af spændingerne, før disse fortonede sig i det Baltiske Skjold og den Russiske Platforms solide fundament.

Ganske vist blev der i Karbon-Perm også dannet en 'tommelfinger' på 'Tornquist hånden' (5 i fig. 2). Den 'spaltede fra' i Kattegat og fortsatte med mere nordlig retning mod Oslo fjorden. Men denne 'tommelfinger' endte ligesom Skagerrak-Oslo graven blindt i det Baltiske Skjold, og derfor påvirkedes den ik-

ke særligt. Spændingerne blev især udløst, hvor der var uhindret mulighed for højeregående sideværts forskydning, næsten som da Tornquist Zonen blev anlagt ca. 230 millioner år tidligere. Nu ledsagedes sideværts bevægelserne dog ikke af en generel strækning som i Karbon–Perm, men tværtimod af stærk sammenpresning, fig. 5 C.

Tornquist Zonen blev presset kraftigt sammen, samtidig med at skorpeblokkene omkring den blev forskudt sideværts. De enkelte mindre forkastningsblokke i zonen blev indbyrdes forskudt, nogle hævet og andre relativt sænket. Alt i alt blev zonen som helhed dog presset op og hævet i forhold til omgivelserne. Den undergik tektonisk inversion. Det, der havde været længst nede, kom højere op, fig. 5 C.

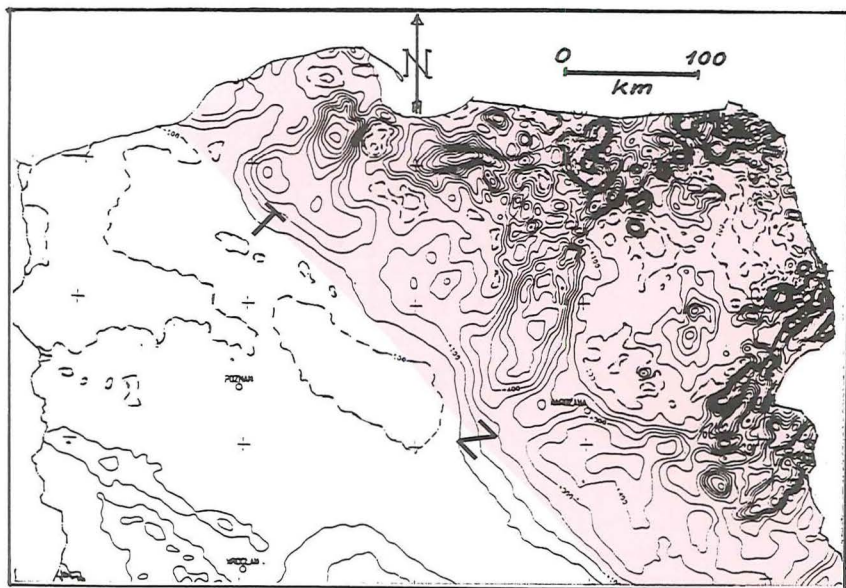
Nogle steder, f. eks. i Skåne, blev grundfjeldet indenfor zonen, eller i dele heraf, løftet så højt op, at det kom til at danne horste med blottet grundfjeld. Sedi-menterne op mod horstene blev kippet, og andre steder blev de tvunget op i langstrakte 'buler' eller store bløde folder – ligesom et bordtæppe, der buler eller folder, fordi dets underlag forskydes (eller tæppet forskydes over underlaget). Hvor erosionen fjernede toppen af buleterne, kom underliggende ældre lag frem, som f. eks. i Kattegat (se VARVs nye undergrundskort og forsiden af 1992 nr. 2).

I Polen havde den forudgående indsynkning i det rift-lignende bassin langs Tornquist Zonen været særlig kraftig. Her medførte inversionen også, at den krystallinske skorpe under Tornquist Zonen blev løftet op, men denne hævnning formåede ikke at udligne den tidligere indsynkning, se fig. 5 B og C. Derfor er der i NV–Polen fortsat en langstrakt fure i krystallin-overfladen under Tornquist Zonen, selv om der er udviklet en kraftig opbulning i de overliggende sedimenter, det såkaldte Pomeranske–Kujawiske Antiklinorium (PKA i fig. 4).

Tornquist Zonen er opkaldt efter geologen Alexander Johann Heinrich Tornquist, der trods sit svensk klingende navn var af tysk afstamning. Tornquist blev født i 1868 i Hamburg, studerede 1888-92 ved universiteterne i Freiburg in Bregau, München og Göttingen, og ansattes som docent, senere professor, ved universitetet i det dengang tyske Strassburg. I 1907 udnævntes han til professor i geologi og palæontologi ved universitetet i Königsberg (nuværende Kalinin-grad, se fig. 4) i Østpreussen, hvor han virkede, indtil han i 1914 flyttede til Graz i Østrig for at overtage den berømte professor Kossmats embede. Tornquist boede også her som emeritus og omkom i 1944 under et luftangreb.

I Königsberg skrev A. Tornquist tre afhandlinger (1908, 1910 og 1911) om det 'Baltisk–Russiske Skjolds sydvestlige rand, det vi nu kalder Tornquist Zonen. Afhandlingerne tiltrak sig stor opmærksomhed blandt europæiske geologer, fordi de var skrevet på tysk, der dengang var et verdenssprog, og fordi de fremkom i det vi i dag kalder 'internationalt anerkendte' tidsskrifter eller bogværker.

Fra Königsberg foretog A. Tornquist flere ekskursioner til Bornholm og Skåne. Han studerede her de forkastnings- eller brudbegrænsede horste, hvor grundfjeldet rager op gennem omgivende sedimenter. I Königsberg fik han også forelagt resultaterne af den Preussiske Geologiske Undersøgelses regionale opmåling af magnetfeltets styrke, og da han så dette kort, sagde det 'klik'. Nu havde han erkendt 'Tornquist Zonen'. Det var dog naturligvis ikke ham selv, men andre, der opkaldte den efter ham.



Figur 7. Moderne magnetisk kort over Polen. De fuldt optrukne, tætliggende kurver viser positive anomalier forårsaget af relativt højtliggende (mere magnetiserbart) grundfjeldet under den Østeuropæiske Platform. Bemærk hvorledes de positive anomalier slutter brat langs en NV-SØ gående linie: Tornquist Linien. Efter Mapa Magnetyczna Polski (Instytut Geologiczny Warszawa).

På det magnetiske kort (fig. 7) var der kraftige positive anomalier, hvor grundfjeldet lå relativt højt under den 'Russiske Platform'. Men de positive anomalier endte brat langs en NV-SØ gående linie, som tydeligt pegede mod Bornholm og Skåne, hvor de store forkastninger og brud havde samme retning.

Det måtte efter Tornquist's mening betyde, at grundfjeldets magnetiske bjergarter enten ophørte langs denne linie, eller var dybt, dybt begravet sydvest for den. Ved at kombinere geologiske data fra Skåne og Bornholm med polske geofysiske data tegnede han den linie, som i mange år kom til at stå som sydvestgrænsen for grundfjeldet i det Baltiske Skjold og den Russiske Platforms fundament.

Men var det nu korrekt, at kombinere disse to slags data fra to forskellige områder på denne måde? Det bratte ophør af de positive magnetiske anomalier ved 'Tornquist Linien' i Østpreussen kunne måske i stedet skyldes, at de Nordtyske Kaledonider her grænser op mod grundfjeldet i Gammel Europa? Det må retfærdigvis bemærkes, at man på Tornquist's tid ikke vidste, at der under et tykt dække af Devone og yngre sedimenter skjuler sig et Kaledonisk foldebælte under Nordtyskland, det sydlige Danmark og dele af Polen, se fig. 4.

A. Tornquist var ikke den første, der interesserede sig for brudzonen mellem det Gamle og Unge Europa. Han omtaler samvittighedsfuldt ældre afhandlinger skrevet af den preussiske geolog A. Jentzsch (1881 og 1888) og flere polsksprogede afhandlinger af J. Siemiradzki (1889 a og b) og W. Teisseyre (1883 og 1898). W. Teisseyre havde ud fra stratigrafiske kriterier påvist en vigtig geologisk grænselinie fra det centrale Polen til Ukraine. Den tidlige Palæozoiske udvikling nordøst og sydvest for denne linie var vidt forskellig.

Men polsk har aldrig været et verdenssprog, så W. Teisseyre's indsats forblev længe upåagtet af vesteuropæiske geologer. Først efter den sidste Verdenskrig, da Polen genopstod og A. Tornquist var bombet solidt bort, blev Teisseyre's navn gravet frem af glemslen. Det kan godt være, at nogle polske forskere her kort efter Verdenskrigens afslutning gerne havde set 'preusserens' navn (Tornquist) slettet helt, men det blev til et kompromis. Øst for Jerntæppet blev det nye officielle navn for brudzonen Tornquist–Teisseyre Zonen.

Dette østeuropæiske navn anvendtes som betegnelse for hele brudzonen mellem Nordsøen og Sortehavet. I 1988 foreslog EUGENO-S arbejdsgruppen under den Europæiske Geotravers i stedet at bruge forskellige navne for forskellige dele af Tornquist Zonen. Mellem Nordsøen og Østersøen blev den døbt Sorgenfrei–Tornquist Zonen (STZ), mens den sydøstlige fortsættelse af zonen gennem Polen, Ukraine og Rumænien til Sortehavet blev kaldt Teisseyre–Tornquist Zonen (TTZ). I begge disse navne står Tornquist til sidst som en slags efternavn. Derfor bruger i hvert fald vestlige geologer fortsat Tornquist Zonen (TZ) som en slags fællesnævner for hele zonen (STZ samt TTZ), men anvendes de to dobbeltnavne, hædres en dansk geolog (Sorgenfrei) med et tykklingende navn, en tysk geolog (Tornquist) med et svensklingende navn og en polsk geolog (Teisseyre) med et fransklingende navn.

Som bemærket et par gange ovenfor giver denne artikel langt fra hele historien om Tornquist Zonen og grænsen mellem det Gamle og Unge Europa. Tilbage står blandt andet at berette om nye spændende geofysiske resultater om strukturerne under Tornquist Zonen, i den nedre skorpe, omkring Moho og i den nedre lithosfære. Og så melder spørgsmålet sig unægtelig: "Hvor levende er den endnu i dag?" – Det ville nok være værd at vide, især hvis man lever tæt på Tornquist Zonen....og Barsebäck!