© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Schaktsänkning 800 m i Sedrun Schweiz med luftmaskinen Cop A15

Gunnar Nord Atlas Copco Rockdrills AB och Konrad E. Blank Elektrowatt Zurich Schweiz

Inledning

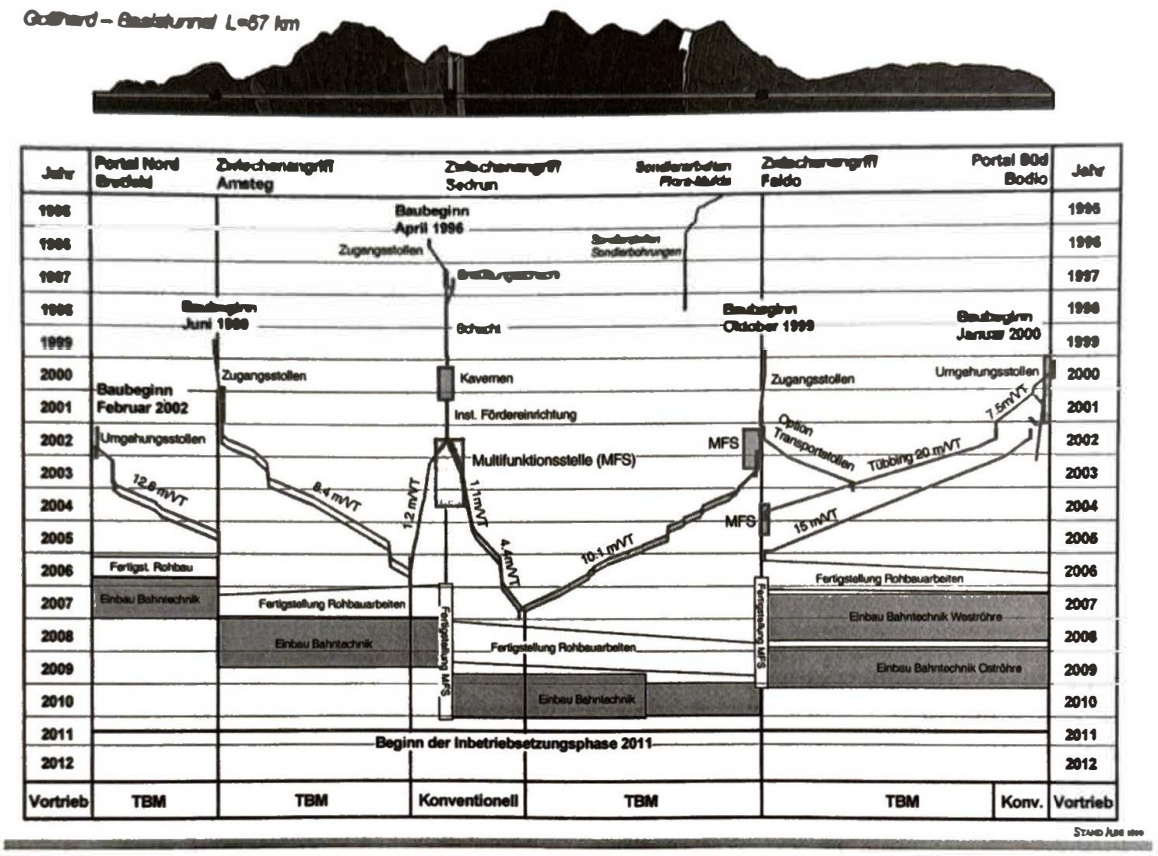
Större schaktsänknings företag förekommer idag relativt sparsamt även sett ur ett globalt perspektiv. Desto intressantare är det att kunna rapportera från ett till synes mycket lyckosamt schaktsänkningsprojekt där drivningshastigheten är så hög att det förefaller vara hög tid att omvärdera schaktdrivningens roll åtminstone vid djupare sådana.
Neat är samlingsnamnet på det stora alptunnelprojektet för järnväg som just har igångsatts. Det omfattar Gotthard basis tunneln med en längd 57 km och Lötschbergtunneln som får en längd av 33 km. Båda projekten göres som dubbla enkelspårstunnlar med ett undantag av cirka 9 km på Lötschberg förbindelsen där tunnelrör 2 sannolikt kommer att utföras i framtiden. Det betyder att hela projektet omfattar cirka 170 km spårtunnel och därtill kommer tillfartstunnlar.
Vid en av de planerade arbetspåslagen var emellertid bergtäckningen så stor att man beslöt sig för att sänka ett schakt för att komma ned till nivån +550 på vilken den planerade Gotthard basis tunneln kommer att befinna sig. Det innebär att det totala schaktsänkningsdjupet blir 800 meter då man startar på nivån 1350, från en underjordsposition.
Vid sänkningsföretaget som nu i januari 2000 är nästan klart har borrmaskiner från Atlas Copco nyttjats för produktion av såväl spränghål som bulthål. Själva drivningsförfarandet kommer nedan att redovisas men inledningsvis kommer Gotthard basis tunneln att i korthet presenteras.
Det som gör detta projekt så intressant är höga hastighet med vilken man driver schaktet. Efter en del startproblem sjunker schaktbotten med cirka 3,5 meter per dygn och man arbetar 7 dagar i veckan vilket ger dryga 100 m per månad. Skulle man ta sig ned med en accesstunnel istället kräves en framdrift av 700 meter per månad för att uppnå samma vertikala hastighet.

Gotthard basis tunneln

Den växande transit trafiken på lastbil genom Schweiz blir ett allt större miljöproblem. Järnvägslinjerna har i stort sett slagit i kapacitetstaket. Den lösning man har valt med stöd från EU är att skapa nya väsentligt snabbare järnvägsförbindelser och tvinga transit trafiken att färdas på järnväg.
Man har för den skull projekterat två stycken nord-syd liga järnvägslinjer båda med upp-och nedspår. De benämns Gotthard Basis och Lötschberg Basis tunnlar och där basis står för att de löper på en ur alpsynpunkt relativt låg nivå. Gotthard Basis tunneln befinner sig på nivån +400 till +550 där den lägre nivån råder vid portalerna. Som jämförelse kan nämnas att Gotthard tunneln som brukas idag ligger på nivån +1150 och är cirka 15 km lång. En sänkning av tunnelrälsen med 600-700 meter kostar således 40 km tunnel.
För att kunna genomföra projektet inom rimliga tidsramar har det projekterats ett antal så kallade mellanpåslag och de är totalt 3 stycken. Två av dem utföres som reguljära tillfartstunnlar med 1,8 och 2,7 km längd respektive medan det mittersta av dem krävde en

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

betydligt större längd varför man här valde att använda 800 meter djupt schakt för att komma till huvudtunnlarna.
Schaktsänkningsarbetena är den byggdel i projektet som man startade med eftersom den kritiska linjen för hela Gotthard basis tunneln går genom detta schakt. Igångsättningen av själva schaktet startade i oktober 1998 medan de två övriga startade under andra hälften av 1999. En översiktlig tidplan för hela projektet visas i figur 1 nedan.
Sänknigen av schaktet är en entreprenad och den tekniska ledaren i denna är det Sydafrikanska företaget Shaftsinkers. Som framgår av namnet har man specialiserat sig på att sänka schakt och då med inriktning på de djupa gruvorna i Sydafrika.



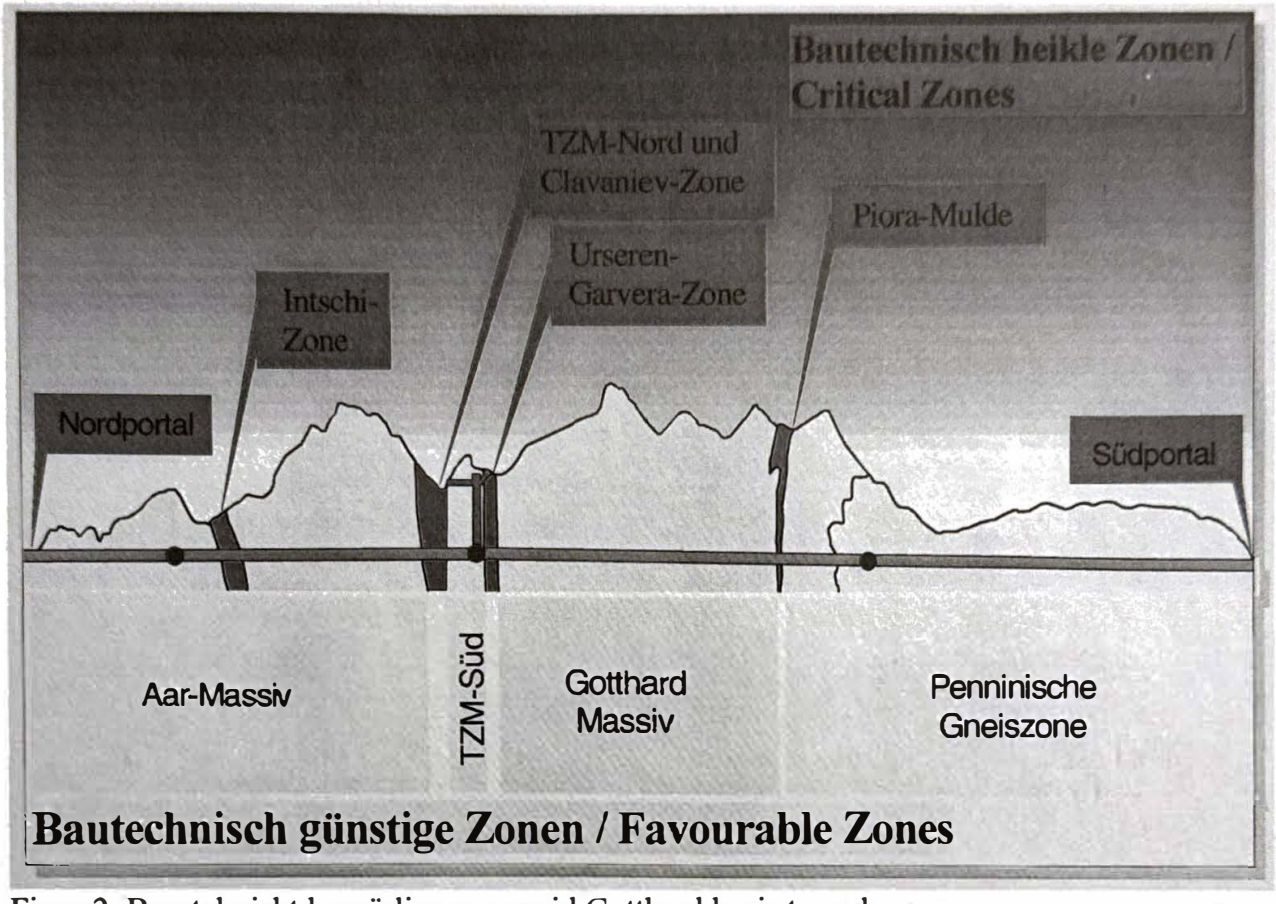
Figur 1 Längdsektion och tidplan Gotthard basis tunneln

Geologiska förhållanden vid Gotthard basis tunneln

Merparten av Gotthard tunnelns sträckning är förlagd i kompetent kristallint berg och förväntas inte ge några större problem i samband med tunneldrivningen. Det är de tre massiven Aar, Gotthard och Penninisch gnejszonen och de utgör mer än 90 % av hela tunnelsträckan. De har till stor del varit utsatta för metamorfos och de få bergbyggnadstekniska problem som man kan förvänta sig är relaterade till den stora bergtäckningen, 2000 meter. I gränserna mellan dessa massiv ligger geologiska formationer med betydligt sämre hållfasthets egenskaper. Den nordligast belägna zonen som ligger i Aar massivet benämns Intschizonen. Den är 500 m bred utgörs av fyllit och skiffer. Det är alltså ett material som lätt deformeras under högre tryck. Därefter följer Tavetscher mellanmassiv som består av glimmerrik gnejs och som i sin kontakt med Aarmassivet uppträder som en mer än 1 km bred svaghetszon. Samma sak råder i mellanmassivets sydända där en några hundra meter bred fyllitzon utgör övergången till Gotthardmassivet. Det sydligaste stora störningszonen är Piora Mulde som är en 150 meter bred zon av kalkberg. Denna zon utgörs till stora delar av till sand nedkrossat berg som är vattenmättat med ett tryck på tunnelnivån

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

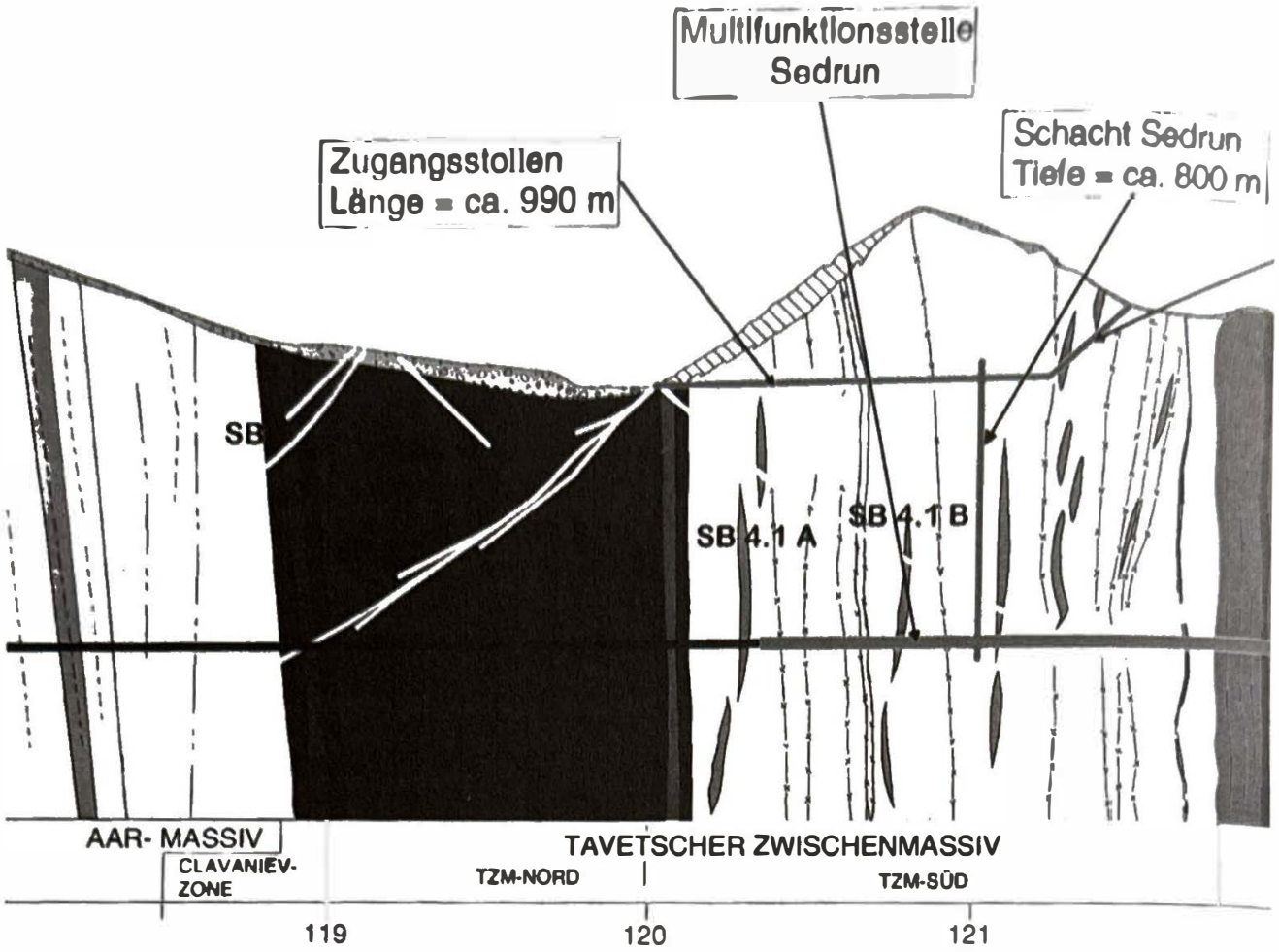
som motsvarar en vattenpelare av mer än en kilometer. Speciella undersökningar vidtogs i denna zon och kunde konstatera att det sönderkrossningen upphörde cirka 200 m ovanför den blivande tunnellinjen.
Fördelning av massiven och zonerna med förväntade dåliga bergförhållanden framgår av figur 2 nedan.



Figur 2 Bergtekniskt besvärliga zoner vid Gotthard basis tunneln

Schaktet vid Sedrun förlades i det parti där man förväntar sig det sämsta berget nämligen i Tavetscher mellanmassiv men då inte i de dåliga kontakt zonerna utan mitt i glimmergnejsen. För att klarlägga bergförhållandena kring schaktläget borrades ett antal donlägiga kärnborrhål. Att det inte blev något vertikalt hål i schaktläget beror sannolikt på att schakttoppen ligger inte mindre än 1000 meter in i berget. Borrningarna vid schaktläget framgår av figur 3 nedan.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 3 Längdsektion vid Sedrun

Schaktet vid Sedrun

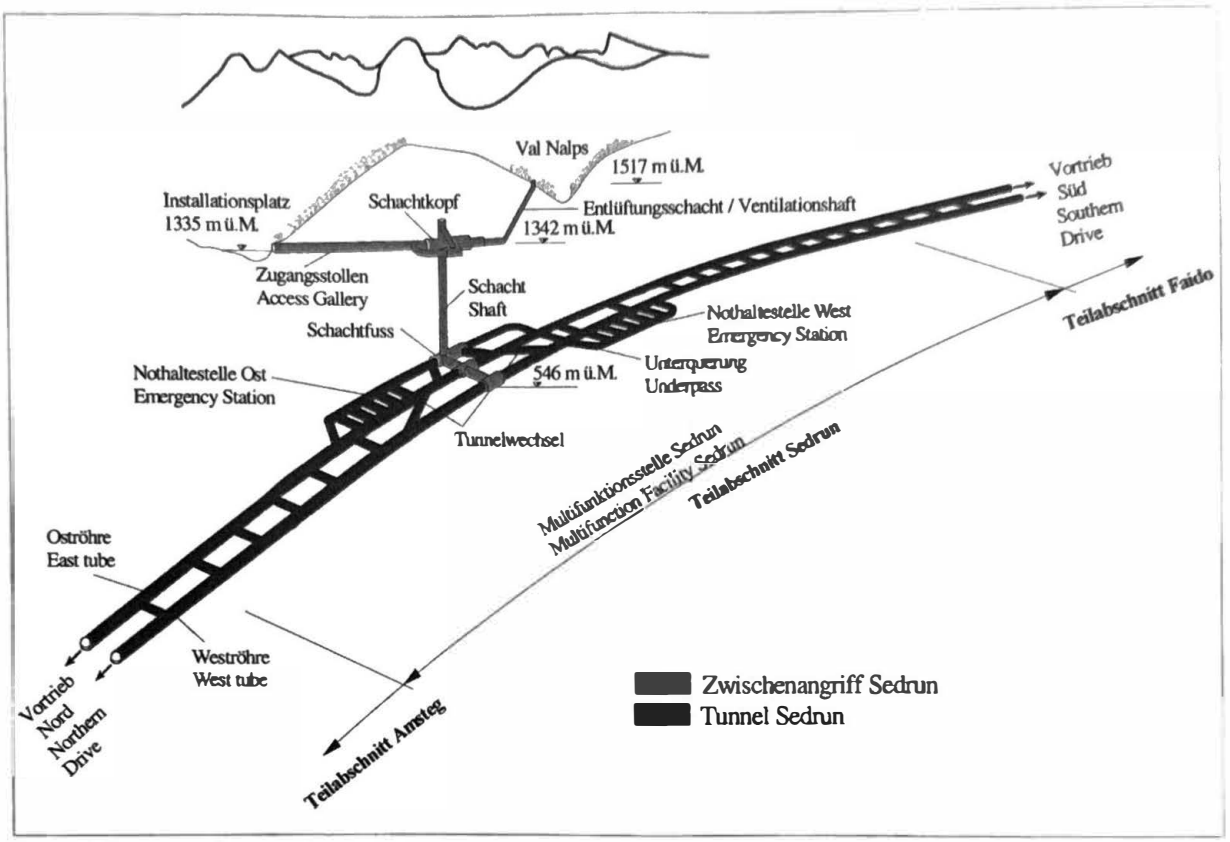
Schaktet i Sedrun byggs för att kunna genomföra tunnelprojektet inom rimliga tidsramar. Det innebär dock inte att det överges vid start av tunnels operativa period. Schaktet kommer att nyttjas för ventilation och möjligen för nödutrymning av tågresenärer för den händelse något skulle förolyckas. Layout för schakttopp och botten framgår av figur 4 nedan och där framgår att avstigningsplattformar för både söder och norrgående trafik ingår i byggnationen. Vidare finns växlingsmöjligheter mellan de två spåren och utrymmen för personal som sköter underhållet på tunneln. Man har helt enkelt kallat platsen för "multifunktionsställe".

Kommunikation och installationer i schaktet

För att få en schakt drivning av denna dimension att fungera har ingen kraft sparats för att få kommunikationerna mellan schakt topp och botten att fungera med god kapacitet. Linspelet för korgar som för upp utbrutet berg och för ned utrustning och delar av byggmaterialet visas i figur 5 nedan. Bilden visar situationen under tunneldrivningsfasen
Det installerade linspelet för schaktdrivningen byts sedan ut för att passa tunneldrivningen när schaktet väl är klart. Vid schaktsänkningen är kapaciteten vid lyft av bergmassorna i korg 10 ton berg vilket motsvara cirka 6 lösa m3. Korgen har en max transporthastighet av 11 meter/sekund vilket betyder att den avverkar 700 m på 60 sekunder. Man har installerat två linspel så att det alltid finns en tunna tillgänglig på schaktbotten för fyllning. Detta är väsentlig eftersom utschaktningstiden annars skulle bli alldeles för lång. Tunnorna är gejdrad

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

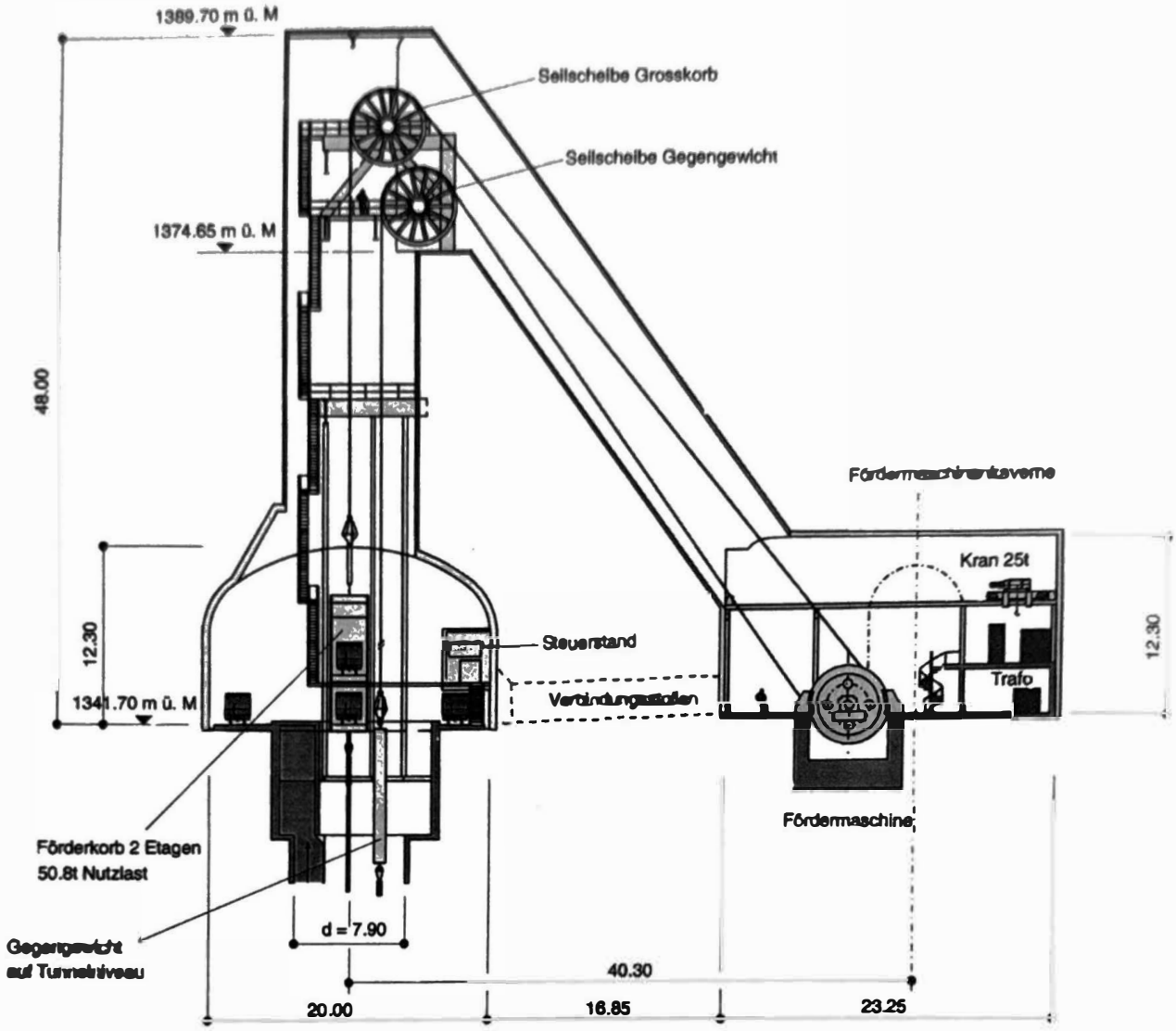
med linor som är fästade i den stora arbetes plattformen vilken hänger strax ovanför schaktbotten.



Figur 4 Layout för schakt vid Sedrun

För att kunna driva schaktet med så hög hastighet som 3-3,5 meter/dag krävs att flera arbetsmoment kan utföras samtidigt. Formsättning och gjutning av den slutliga betonginklädnaden (liningen)göres parallellt med övriga drivningsaktiviteterna. Samtidighetskravet har man löst med att använda en arbetsplattform som har givits hela 5 arbetsdäck figur 6 visar schematiskt hur arbetsplattformen ser ut . Det nedersta däcket nummer 5 är för styrning av aktiviteterna på schaktbotten, från däck nummer 3 monteras betongformar för slutlig betonginklädnad i 6 meters etapper, vid däck 2 tas gjutbetongen emot från störtrör, omblandas och gjutes och slutligen från plattform 1 monteras alla försörjningslinjer.
Bland förningslinjerna kan nämnas störtrör för betong och sprutbetong. De har skilda rör för att inte störa varandra. Båda betongsorterna blandas på nytt nere på plattformen och efter avslutad gjutning respektive betongsprutning så rengörs ledningarna. Det är intressant att konstatera att man har valt en lösning med rörtransport bara för att slippa belasta hissarna och därvid kunna förorsaka störning på flödet av bergmassor eller andra transporter.
Friskluft blåses ned i schaktet via en stel plåttub som har en diameter av stoleksordningen 1,3 meter. Till de ovannämnda kommer ledningar för ren och avloppsvatten elström och tryckluft.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



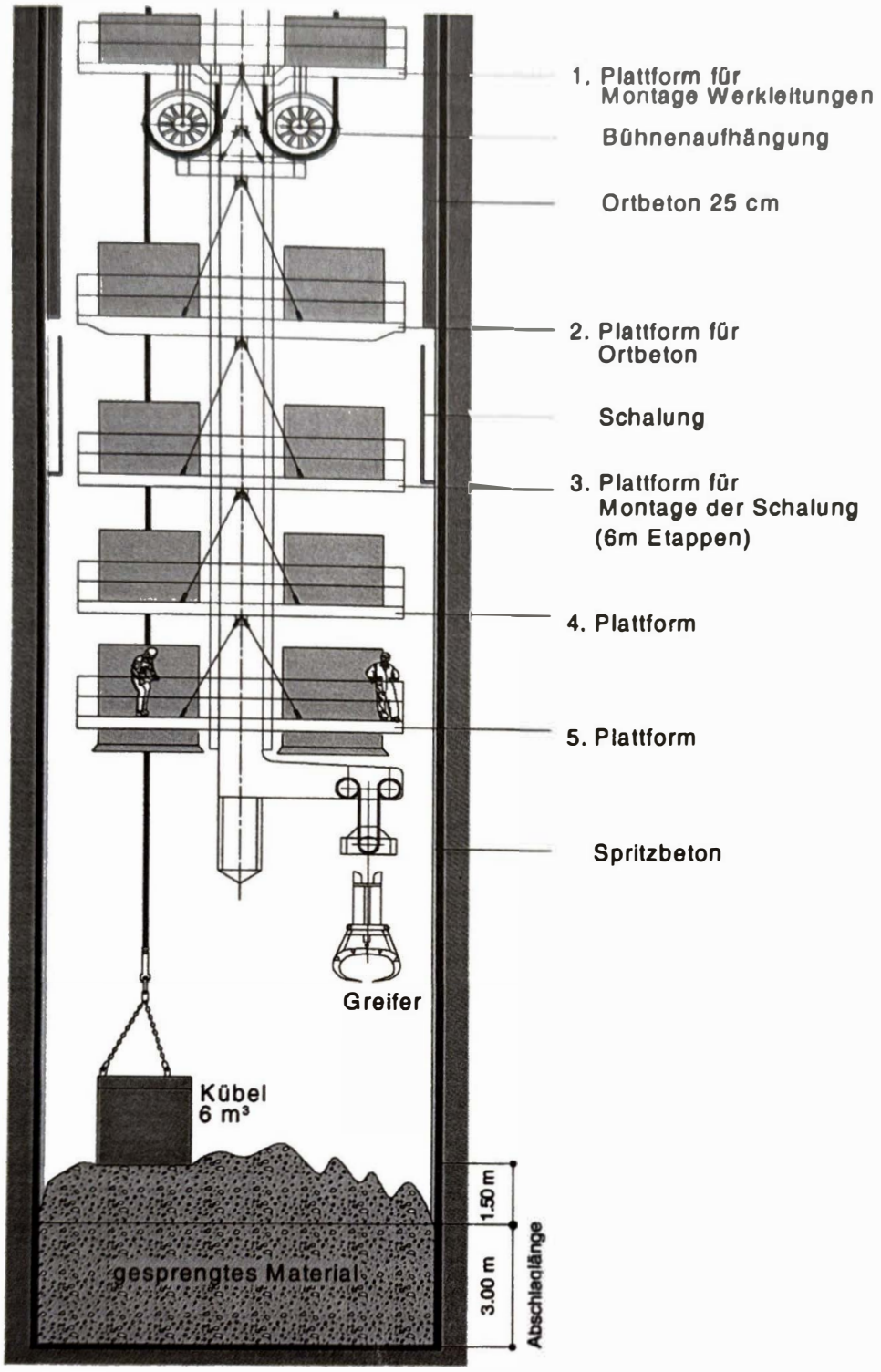
Figur 5 Linspel för schaktet vid fasen för tunneldrivning

Tekniska data om schaktbygget

Schaktet:	Utsprängd diameter	cirka 8,7 meter
	Diameter efter inklädnad	7,9 meter
	Nivå på Schakttopp	1342 m. ö.h
	Nivå på tunnelbotten	546 m.ö.h.
	Total höjd för schakt	796 meter
Arbetsställningen:		
	Antal arbetsplattformar	5 stycken
	Total höjd	16,5 meter
	Total vikt	85 ton
Linspel för tunnor:		
	Brytskiva diameter	5,5 meter
	Installerad effekt	2200 kW
	Lyfthasighet max	11 m/sek
Linspel för arbetsställning:		
	Brytskiva diameter	3,7 meter
	Installerad effekt	220 kW
	Lyfthastighet	0,13 m/sek

Tabell 1 Sammanställning schaktdata

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 6 Arbetsställning för schakt drivning i Sedrun

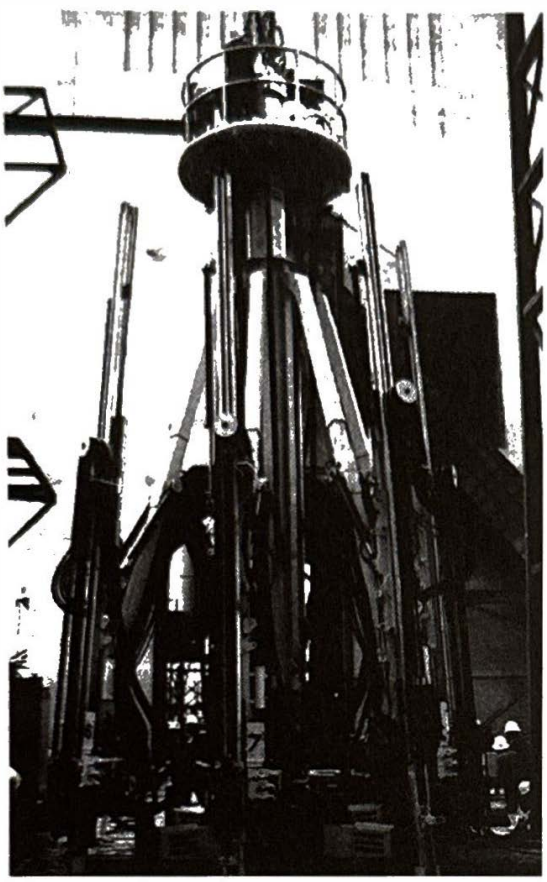
Drivningscykeln i schaktet

De enskilda delarna i drivningscykeln kommer nedan att redovisas i detalj och därvid kommer speciellt själva borrningen att ges ett relativt stort utrymme.

Borrning av salv och injekteringshål:
Schaktsänkning är något av en Sydafrikansk specialitet på grund av alla de djupt belägna gruvorna och är därför naturligt att Atlas Copco Sydafrika som har tagit fram en serie

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

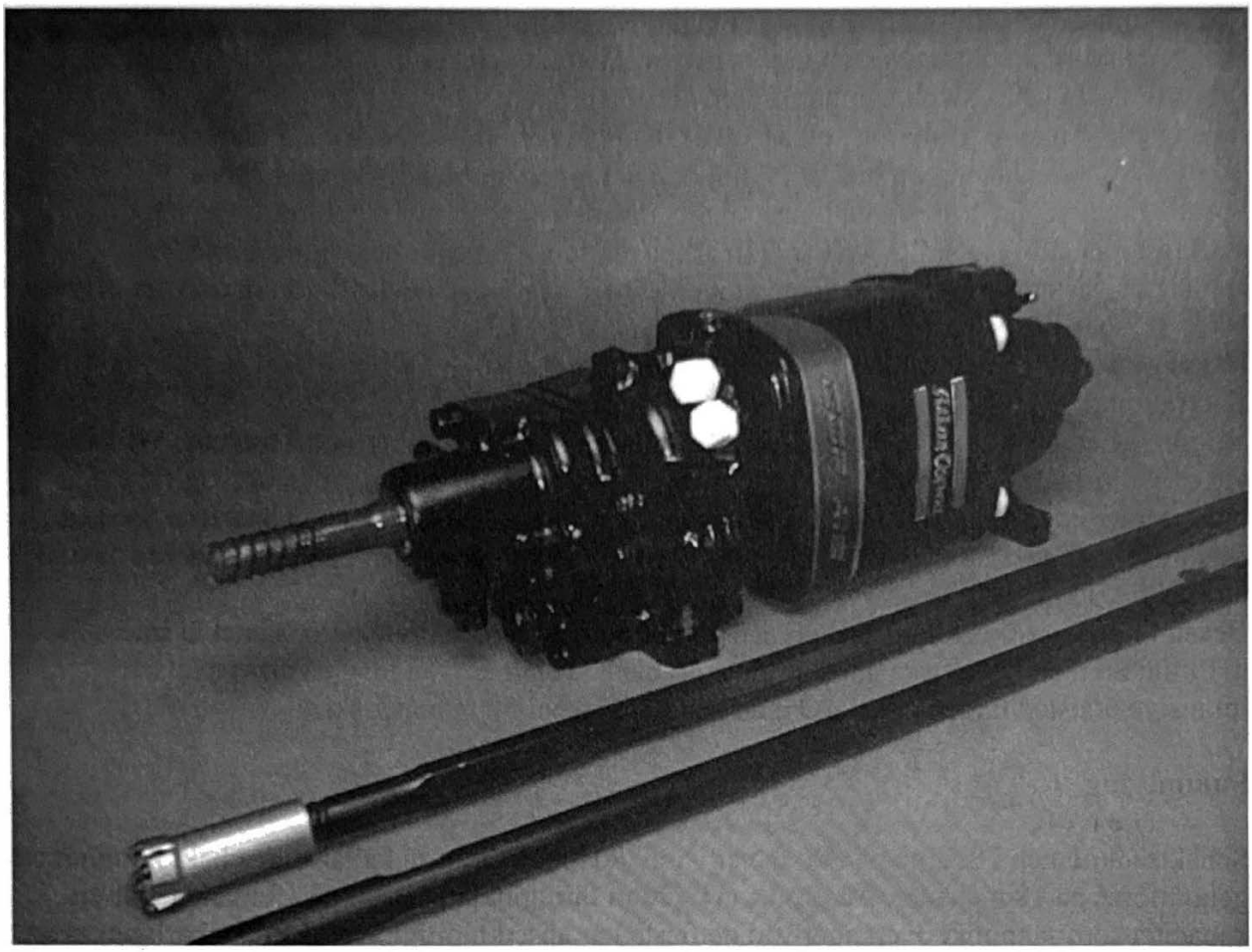
borriggar speciellt avsedda för salvborrning vid schaktsänkning. De är passar för runda schakt vilket är den helt dominerande formen och de har strukturellt stort släktskap med stålställningen i ett vanligt paraply. Antalet bommar eller ekrar varieras från 3 till 9 och schaktdiametrar från 6 till 12 meter kan täckas. Riggen för Sedrun har sex bommar och är återgiven i figur 7.
Riggen är utrustad med borrmaskinen Cop A15 (se figur 8) som är en luftmaskin som frisläpptes 1998 och då endast för schaktsänkningsapplikationen med vattenspolning av borrhålen. Slagenergin är 14 kW och maskinen arbetar med ett lufttryck av 6 bar varvid 300 l/sek erfordras. Maskinen är avsedd för hålstorlekarna 51-102 mm och vid Sedrun använder man sig av 51 mm hål. Borrsjunkningen enligt platschefen är cirka 1,2 m/min.



Figur 7 Atlas Copco Borrjumbo för drivning av sänkschakt

Glimmergnejs som utgör berget i schaktläget förefaller svårsprängt eftersom det på en area av 58 m2 kräver inte mindre än 2,9-3,6 kg sprängämne (nitroglycerinbaserat) per m3. Det skall dock understrykas att man är angelägen om att få ett lättlastat styckefall. Enligt platschefen hade det varit mer normalt att vänta sig en sprängämnesförbrukning av storleksordningen 2,5 kg/m3. Antalet hål varierar mellan 140 och 170 och de borras normalt till ett djup av 3,5-3,8 m och indriften blir 3,2-3,5 m. Alla hålen är placerade cirkulärt, borras vertikalt och öppningen är en parallellhåls kil med 3 stycken grovhål på 102 mm triangulärt placerade. Borrning av grovhålen sker med en DTH hammare som är centralt placerad i riggen. Periferihålen är placerade med ett c-c av 0,55 m.
Borrningen tar cirka 3 timmar inklusive mobilisering och efter avslutad borrning lyftes riggen ur schaktet.
För kontrollera vatteninflödet så utfördes kontinuerlig förinjektering med 40 meter långa hål som borrades i trumpet form nedåt. Hålen är 2x8 till antalet och injekteringen utfördes med injekteringscement. Generellt sett är inläckande vatten till ringa besvär och man har uppmätt som mest 0,4 liter sekund från ett injekteringsborrhål och motsvarande siffra vid borrning av bulthål är 0,2 liter per sekund. Bulthålläckaget kom då från ett antal öppna hål.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare



Figur 8 Borrmaskin Cop A15

Laddning:
Laddningen som utförs med patronerat sprängämne är det nitroglycerinbaserade Tovex Se i pipan och Gamsit i botten medan pipan i periferin laddas med Detonex. Laddningen avslutas 30 –45 minuter efter avslutad borrning. Innan sprängning kan ske måste hela schaktsänkningsställningen lyftas till 60 meter över botten för att inte skadas av kast.
Ventilation:
Ventilation av spränggaserna utföres med det reguljära ventilationstuben som blåser friskluft mot schaktbotten. Det är inte känt vilken tid som åtgår för ventilationen men det är rimligt att gasproppen stiger med cirka 0,5 m/sek om hänsyn tages till ventilationstubens storlek. Vid 800 meters djup skulle det innebära en tid på knappt en halvtimme.
Utlastning:
Vid schaktning används en gripskopa som är upphängd centralt i den undre delen av schaktställningen och enligt uppgift har den en gräv kapacitet av 160 ton/timme, se figur 6. Massorna dumpas i tunnorna som beskrivits ovan och normalt lastar man cirka 9 ton i varje. Det är inte gripskopan som sätter kapaciteten på utschaktningen utan det är hanteringen av tunnorna. Man får ut cirka 10 tunnor i timmen och utlastning ned till cirka 1 meter över schaktbotten tar 5 till 6 timmar. Därefter avbryts utlastningen för att installera bult och applicera sprutbetong. När det är avslutat lastas den sista metern ut på en timme. Det innebär att hela utlastningen av 210 fasta m3 tar 6 till 7 timmar och det innebär 80 till 90 ton per timme. Till detta skall läggas rengöring av tunnelbotten med tryckluft som kräver ytterligare 2 –3 timmar.

© 2000 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Förstärkning:
Den primära förstärkningen som utgörs av Swellexbult och sprutbetong utföres under ett avbrott i lastcykeln. Swellexbultarna som är 3 meter är av standardtyp och hålen borras reguljära knämatare. Bultarna i ett så kallat diamondpattern med sidan 1,5 meter och (betyder att man placerar en bult per 2 m2 och det innebär cirka 40 bult per salva.
Sprutbetongen som är den våta typen appliceras med handsprutning vilket synes något märkligt men att så är fallet hävdas från arbetsplatsen. Den sprutbetongtjocklek som appliceras varierar från 5 cm och uppåt men snittet ligger i spannet 10-15 cm och det betyder 10-15 m3 per salva.
Hela förstärkningen tar 5 till 6 timmar i anspråk.
Total salvtid:
Summeras nu all nedlagd tid för salvan kommer man till en summa av 19 timmar. Man siktar vid drivningen att ha rytmen en salva per dag och det uppnår man nu men det tog fyra månader av inkörning där man i början knappt uppnådde 40 % av denna kapacitet. Med en salva på 3,5 meter per dag når man en framdrift på 100 meter per månad. Platschefen hävdar att schaktsänkningsrekordet i Sydafrika är hela 200 meter per månad.
Besättningen var till stora delar otränad och bestod av flera nationaliteter så det är inte märkligt att man hade stora uppstartningsproblem. Totalt är man idag på arbetsplatsen inklusive platsledningen cirka 140 man och det innebär 30 man per skift.

Summering

Schaktsänkningen i Sedrun på 800 meter varav 80 meter är ett så kallat startschakt kommer att genomföras på 18 månader. Att producera 720 m färdiginklätt schakt på 13 månader är en kapacitet som sannolikt överstiger vad de flesta har ansett möjligt. Det är uppenbarligen så att drivningen vid Sedrun har satt en ny standard för sänkning av djupa schakt där Sydafrikansk teknik har visat vägen.