

# A TRANSRAPID MÁGNESVASÚTI RENDSZER ÉPÍTÉSI ÉS ÜZEMI JELLEMZŐI

Kazinczy László

egyetemi docens,

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Út- és Vasútépítési Tanszék  
lkazinczy@gmail.com

## *Bevezetés*

A vasúti üzemek műszaki újdonságait áttekintve és elemezve arra a következtetésre juthatunk, hogy a kötöttpályás közlekedés a 20-21. sz. fordulóján ismét forradalmi változásokat eredményez az emberi helyváltoztatás körülményeiben. Ez a vasút második forradalmának tekinthető. Egy fejlődési spirál mentén ugyanis olyan új megoldások létrejöttek lehetünk tanúi, amelyek minőségileg és mennyiségileg egyaránt az első forradalom jellemzői voltak (új energiák felhasználása, soha nem látott méretű műtárgyak megjelenése, minden korábbinál nagyobb sebességek elérése stb.).

A napjainkban zajló forradalmi változások talán egyik legmarkánsabb eleme a mágnesvasút üzemszerű megjelenése. A mágneses lebegtetés és továbbítás a közlekedésben merőben új távlatokat nyit az energiafelhasználás, a környezetvédelem, az eljutási idők stb. tekintetében.

A mágnesvasúti közlekedés legkifejlettebb formája a Németországban kifejlesztett Transrapid rendszer, amely az üzemi próbákon túljutva ma már menetrendszerű tömegközlekedési feladatokat is ellát Kínában.

## *A Transrapid rendszer előzményei és fejlődésének rövid története*

A mágneses lebegtetés és hajtás elvét 1934-ben *Hermann Kemper* szabadalmaztatta Németországban. A megvalósítás gondolata először az 1960-as években Németországban, az Amerikai Egyesült Államokban és Japánban vetődött fel.

A II. világháborút követően a kutatásokat és fejlesztéseket a legdinamikusabban Németországban végezték. Az MBB-konzern már 1971-ben egy 660 m hosszú kísérleti pályán a gyakorlatban is megvalósította a mágneses járműmeghajtás elvét. A fejlesztési tevékenységbe számos német nagyvállalat (Deutsche Bundesbahn, ThyssenKrupp, Siemens stb.) bekapcsolódott. Mindezek eredményeként 1979-ben engedélyezték a személyszállításra alkalmas első jármű üzemét is (a hamburgi világkiállításon a Transrapid 05 sorozatú jármű több ezer látogatót szállított).

A Transrapid járművek fejlesztésére ezt követően 1983-ban Észak-Németországban létesült egy kutatóbázis, próbapályával együtt (Emsland). Az itt végzett tevékenység eredményeként jelentek meg a Transrapid 06, 07, 08 sorozatú járművek. A kutatási tevékenység

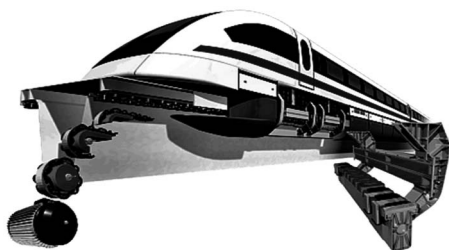
egyik legkézzelfoghatóbb eredménye a Kína számára leszállított o8 sorozatú szerelvények, amelyek 2002 óta Sanghajban közlekednek, menetrendszerű forgalomban.

*A rendszer környezeti hatásai*

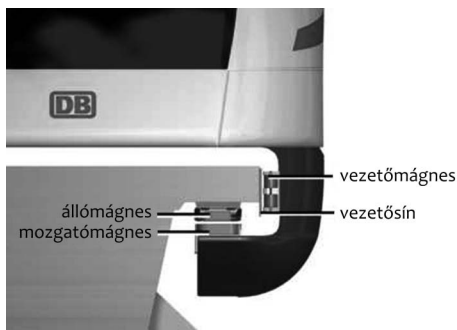
Közismert, hogy a vasúti üzem a zaj- és rezgés-hatások, az energjafelhasználás, a káros anyag-kibocsátás tekintetében – a fajlagos mutatókat tekintve – egy-két nagyságrenddel kedvezőbb, mint a közúti, illetve a légi közlekedés. A mágnesvasút azonban még a keréksín rendszerű vasutaknál is pozitívabb képet mutat. Kiemelendő ugyanakkor, hogy az üzem alapjául szolgáló mágneses erőtér tekintetében is veszélytelen a mágnesvasút (a Transrapid jármű belsejében észlelt mágneses térerő egytizede a hajszáritó és egyötöde a televízió által sugárzott értéknek). A betonoszlopokkal alátámasztott gerendákon vezetett mágnesvasúti forgalom területigénye a szárazföldi közlekedési ágak között a legkisebb (Transrapid: 2 m<sup>2</sup>/m, nagy sebességű adhéziós vasút töltésen vezetve: 14 m<sup>2</sup>/m, közúti közlekedés autópályán: 37 m<sup>2</sup>/m).

*A rendszer működésének alapelvei*

A mágnesvasúti járművek lebegtetésének és mozgatásának körülményei a villanymotorok



1. ábra • A Transrapid mágnesvasút lebegtetésének és mozgatásának körülményei a villanymotor működésének fizikai alapelve alapján



2. ábra • Az elektromágnesek elhelyezkedésének körülményei a pályán, illetve a járművön

működésének fizikai alapelveiből vezethetők le. A villanymotoroknál a mágneses kölcsönhatás forgatja az állórészben (stator) elhelyezkedő rotort. Ha a hengeres villanymotort a palást mentén gondolatban felvágjuk és kiterítjük, akkor két hosszú elemet kapunk, amelyek a tekercsekbe vezetett áram mágneses terének hatására egymás felett elmozdulnak (lineáris motor).

A Transrapid mágnesvasúti rendszerben a stator a pályán (a pálya teljes hossza mentén), a rotor pedig a járművön van elhelyezve (1-2. ábra). A jármű alsó szerkezete nyeregvasútszerűen körbeöleli a pályaszerkezet vízszintes gerendáit (így a pályaelhagyás is kizárt). A kocsiszekrény haladásra merőleges (keresztirányú) pozicionálását az ún. vezető mágnesek végzik. A járművön és a pályán lévő mágnesek közötti távolság üzem közben kb. 10 mm, ennek állandóságára szenzorok ügyelnek. A pályára szerelt vezetékek (pályamágnesek) csak a szerelvények hosszát éppen meghaladó szakaszon kerülnek áram alá, így csökkentve az energiaveszteséget.

*A járművek műszaki jellemzői*

A Transrapid járművek a szállítási kapacitás és a maximális sebesség tekintetében a TR 05

jellemző	TR 05	TR 06	TR 07	TR 08
üzembe helyezés éve	1979	1983	1983	1999
járműegység száma	2	2	2	3
szerelvényhossz (m)	26 200	54 200	51 700	78 800
elért legnagyobb sebesség (km/h)	75	418	450	501
legnagyobb gyorsulás (m/s <sup>2</sup> )	0,8	0,8	0,85	0,8
legkisebb körívsugár (m)	1000	1000	1000	1000
ülőhelyek száma	68	192	196	311
önsúly (kN)	308	1024	920	1495

1. táblázat • A TR 05 – TR 08 sorozatú járművek legfontosabb műszaki jellemzői

sorozattól kezdődően váltak az üzemi (metrendszerű) körülmények számára alkalmassá (1. táblázat). A kocsiszekrény külső megjelenése a TR 05 sorozat után már lényeges módon nem változott. A TR 05 sorozatú kétegyes szerelvény a Hamburgban 1979-ben megrendezett közlekedési kiállítás látogatóit szállította a vásár területén. A TR 06 – TR 07 sorozatú járművek csak az emslandi próbapályán futottak. A TR 08 sorozatú, három egységből álló szerelvények Sanghajban közlekednek. A sorozat legújabb tagját, a TR 09 sorozatú járművet pedig a müncheni üzem számára fejlesztették ki (3. ábra).

A Transrapid rendszerben nemcsak a személyszállításra, hanem az árutovábbításra is felkészültek a tervezők. Elgondolásuk szerint az áruk szállítása konténerekben történne. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a személyszállításra tervezett járművek keresztmetszeti szerelvényénél (járműszerkezetségi szerelvény) éppen a légi közlekedésben szabványosított konténerek méreteit vették alapul.

### A pálya jellemzői

Kétvágányú pálya esetén a vágánytengely távolsáértéke a sebesség függvényében változik:  $V \leq 300$  km/h-nál 4,40 m,  $V \leq 400$

km/h-nál 4,80 m,  $V \leq 500$  km/h-nál 5,10 m. A pálya űrszelvényének szélessége és magassága is a járművek tervezett sebességétől függ. A kétvágányú mágnesvasúti pályatestet övező zajvédő falak távolságát, illetve védősávok szélességét az űrszelvény szélességének, illetve a vágánytengely távolságának összege adja.

Mágnesvasutak helyszínrajzi íveinek *túlmelelése* ( $\alpha$ ) alatt a pályasík keresztirányú (sugárirányú) döntését értjük fokban kifejezve. A kerék-sín rendszerű üzemekkel összehasonlítva a Transrapidnál a pálya keresztirányú döntésének mértékét kizárólag kényelmi szempontok határozzák meg. Így a pálya keresztirányú dőlése körívekben akár 12°, különleges esetben 16° is lehet (a Köln–Frank-



3. ábra • A müncheni üzem számára kifejlesztett TR 09 sorozatú szerelvény vezérlőkocsija

furt közti nagy sebességű vasútvonalon a túlemelés legnagyobb értéke 170 mm, ami  $\alpha = 6,5^\circ$  keresztirányú hajlásnak felel meg). A jelentős mértékű pályadöntés azzal magyarázható, hogy a járművek nyíltvonali megállása nem valószínű, mert a rendszert úgy tervezték, hogy azok vész helyzetben is el tudnak jutni az előre kiépített megállóhelyre.

A *körívek sugarait* a szerelvények sebességének ( $V$  [km/h]), a megengedett szabad oldalgyorsulás legnagyobb értékének ( $a_0$  [m/s<sup>2</sup>]), valamint a pálya keresztirányú legnagyobb döntésének ( $\alpha$  [°]) figyelembevételével kell meghatározni. A 2. táblázat a különböző járműsebességek esetén alkalmazható legkisebb körívsugár ( $R_{\min}$  [m]) értékeit tartalmazza  $\alpha = 12^\circ$  és  $\alpha = 16^\circ$  keresztirányú pályadöntések esetén,  $a_0 = 1,5$  m/s<sup>2</sup> megengedett szabad oldalgyorsulás figyelembevételével.

A Transrapid üzemenknél az egyenes és a köríves pályaszakaszok között általában hullámos görbületfüggvényű *átmenetiíveket* alkalmaznak (szinuszoid átmenetiív), amelyek hosszánál egyrésről 0,5 m/s<sup>3</sup> értékű oldalgyorsulás-változást, másrésről 0,08 °/m nagyságú túlemelés-változást vesznek figyelembe.

$V$ [km/h]	$R_{\min}$ [m]	
	$\alpha = 12^\circ$	$\alpha = 16^\circ$
100	215	178
200	860	715
300	1937	1610
400	3444	2862
500	5381	4473

2. táblázat • A különböző járműsebességeknél alkalmazható legkisebb helyszínradij körívsugár értékek  $\alpha = 12^\circ$  és  $\alpha = 16^\circ$  keresztirányú pályadöntések esetén,  $a_0 = 1,5$  m/s<sup>2</sup> megengedett szabad oldalgyorsulás figyelembevételével

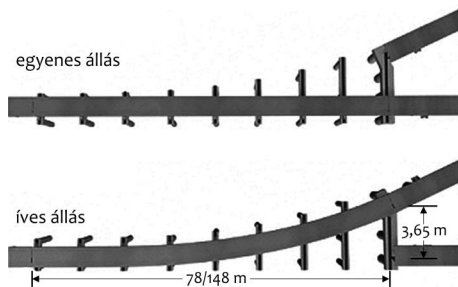
A Transrapid rendszernél alkalmazható legnagyobb emelkedő  $e_{\max} = 10\%$ , amely tulajdonképpen egy nagyságrenddel nagyobb érték, mint a kerék-sín rendszerű vasutak hasonló jellemzője.

A mágnesvasút *nyomvonalát* úgy kell kijelölni, hogy lehetőleg a már meglévő nyomvonalas létesítményekkel párhuzamosan, azokhoz közel haladjon. A Berlin–Hamburg között tervezett Transrapid üzem esetén például a 292 km hosszú vonal 192 km-es hosszán (a teljes vonal 65%-a) sikerült ún. *létesítményi folyosóban* elhelyezni a pályát. A 192 km-es hosszából 77 km-en (26%) az autópályával, 80 km-en (27%) a vasúti pályával 35 km-en (12%) pedig a nagyfeszültségű távvezetékekkel haladnak párhuzamosan a vágányok.

A tervezési előírások szerint a kétvágányú Transrapid pálya tengelye a 2×2 sávú autópálya tengelyétől (1–1 leállósávval) 30–40 m-es, a kétvágányú vasúti pálya tengelyétől 15 m-es, a nagyfeszültségű elektromos távvezeték tengelyétől 21 m-es minimális távolságra helyezhető el.

A Transrapid közlekedési rendszernél a mágneses lebegtetés és továbbítás fizikai körülményei, valamint az üzem biztonsága a környezettől történő teljes elválasztást igényel. Ennek következtében (a műtárgyakat kivéve) a járművek ún. magasvezetésű pályán közlekednek. A *pálya szerkezete* az alapozásokból, az oszlopokból és az oszlopokon nyugvó gerendákból áll. A gerendák anyaga kezdetben még acél volt. Az acélszerkezetek kivitelezése azonban rendkívül munka- és időigényes volt, a gyártási pontosság betartása pedig igen jelentős erőfeszítésekbe került. Így a továbbiakban szinte csak betonból készítettek pályagerendákat.

A Transrapid rendszer *kitérői* lényegében egyetlen fő elemből, egy acél alapanyagú vál-



4. ábra • A kitérők vázlatos alaprajza egyenes és íves (eltérítő) állásban

tórészből állnak. Az acéltartók szerkezetileg úgy vannak kialakítva, hogy azok a pálya síkjában jelentős mértékben hajlékonyak. Így amíg a váltó eleje befogott, rögzített helyzetű, addig a váltó többi keresztmetszete az állítóerők hatására oldalirányban a tervezett mértékben elmozdul. A váltó végén már olyan mértékű az oldalirányú elmozdulás, hogy az a tervezett ívsugarban közvetlenül csatlakozik az eltérítő ágat követő vágányhoz. A kitérők

alaprészét szemlélteti a 4. ábra egyenes és eltérítő állásban.

Az emslandi próbapályán (TVE) három kitérőt építettek be. Ezek mindegyike ún. kétutas szerkezet, amely egy egyenes és egy íves ágból áll. Sanghajban a járműtelep kivéve ugyancsak kétutas kitérőkön zajlik a forgalom. A járműtelepen azonban a három csarnoki szerelévágányhoz történő közvetlen behaladást egyetlen ún. háromutas kitérő biztosítja (5. ábra).

Az emslandi próbapálya két nyíltvonali, nagy sebességű kitérőjének eltérítő ágaiban a pálya összetett geometriájú. Lényegében egy átmeneti íves körívben fekszik a váltórész, amennyiben az eltérítő irányban áll. A Transrapid rendszerű kitérőkben – a többi vasúti ágazattal megegyező módon – természetesen nem alkalmaznak túlelérést.

A kitérőket a járműterhelés, a szélnyomás, valamint a váltórész önsúlya miatt – tekintettel az acélszerkezet szükséges hajlékonyságára



5. ábra • Háromutas kitérő Sanghajban a járműtelep tároló- és szerelévágányainak bejáratánál



– a folyópályához képest sűrűbben kell alátámasztani. A kitérők váltórészének mozgatása a jelentős (70–150 m) szerkezeti hosszak és a megkívánt pontos irány- és fekszint-geometriák miatt egyidejűleg több keresztmetszetben az előbb említett támaszokon történik. Az állítóművek munkájának vezérlését, összehangolt működését, továbbá ellenőrzését számítógép végzi. A kitérők állítása a gyakorlatban elektromechanikus vagy hidraulikus módon történik. Az állítási idő kb. 18 másodperc. A kitérő oldásától a szabad jelzés kiadásáig kb. 30 másodperc telik el.

A kerék-sín rendszerű vasutakhoz hasonlóan a mágnesvasutaknál is alkalmazható a tolópad a járművek járműtelepi vágányok közötti mozgatásánál.

A Transrapid vonalakon az adhéziós vasutaknál leggyakrabban alkalmazott vágánykapcsolatok fordulnak elő, így a vágányelágazás, az egyszerű vágánykapcsolat és a kettős vágánykapcsolat (6. ábra). A kétvágányú pályát összekötő egyszerű vágánykapcsolatban – mint az a 6. ábrán is jól látható – egy mozdulatlan, egyenes tartószakasz fekszik a vágányok között, amelyhez mindkét oldalról a

kitérők mozgó szárai csatlakoznak a vágányok között beállított vágányút esetén.

#### *Az alagutak kialakításának jellemzői*

Az alagutak tervezésekor biztosítandó legkisebb belső keresztmetszeti felületet a járművek üzemi sebessége befolyásolja. A különböző sebességtartományokhoz tartozó minimális keresztmetszeti területeket ( $m^2$ -ben) egy- és kétvágányú alagutak esetében a 3. táblázat tartalmazza.

#### *A működő és a tervezett üzemek jellemzői*

*Működő üzemek* • *Az emslandi próbapálya.* 1969 és 1979 között a Transrapid rendszer fejlesztését – a TR 01-től a TR 05 sorozatú járművekig bezárólag – különböző helyszíneken végezték. A további hatékony kutatások azonban egy állandó helyszínű kutatóközpontot igényeltek, amelyhez kapcsolódó próbapályán már 300–500 km/h sebességű futamok is elvégezhetőek.

Ilyen előzmények alapján épült ki két ütemben (1. ütem: 1980–1983, 2. ütem: 1984–1987) az észak-németországi Emslandnál a 31,5 km hosszú próbapálya. A magas vezetési,



6. ábra • Kettős vágánykapcsolat Sanghajban a Longyang Road állomás előtt

	V [km/h]				
	≤200	≤300	≤350	≤400	≤500
egyvágányú pálya	29	39	53	70	86
kétvágányú pálya	58	78	107	nem tervezhető	

3. táblázat • Egy- és kétvágányú alagutak tervezésénél sebességtartományonként minimálisan biztosítandó keresztmetszeti területek (m<sup>2</sup>)

oszlopokra fektetett gerendákkal (acél- és betonszerkezetek egyaránt épültek) kialakított pálya egyvágányú (7. ábra) mintegy 12 km hosszon egyenesben fekszik, amelynek végein egy-egy fordulóhurok található 1690 m és 1000 m nagyságú ívsugarakkal (a hurkok teljes hossza 19,5 km). Az egyenes pályaszakas közepén ágazik ki a kutatóközpont épületéhez, illetve a tárolócsarnokhoz vezető vágány. A pálya mentén három kitérő fekszik (67, 132 és 149 m sugarakkal). A kísérleti pályán ez idáig elért legnagyobb sebesség 450 km/h (TR 07: 1993).

*A sanghaji üzem* • A mágnesvasút első és máig egyetlen menetrendszerű üzeme Sanghajban valósult meg. A 2012. december 31-én megnyitott 30 km hosszú, kétvágányú vonal

a városközpontot (Longyang Road) köti össze a Puddong nemzetközi repülőtérrel. Az egyik forgalmi vágányról pedig nyíltvonali kiágazással egy 3 km hosszú, egyvágányú pálya vezet a járműtelepre. Az 1999-re kifejlesztett, ötkocsis Transrapid 08 sorozatú szerelvények 7–8 perc alatt teszik meg az utat. Az első vonatok 6:45 / 7:02-kor, az utolsók 21:40 / 21:42-kor indulnak a végállomásokról (2013). A gyakorlatban megvalósítható legrövidebb követési idő 10 perc. Délelőtt 9:00 és 10:45, illetve délután 15:00 és 15:45 óra között a szerelvények maximális sebessége 430 km/h, egyébként 300 km/h.

Minthogy az üzemmód iránt igen nagy az érdeklődés (2005-ben ötmillióan, 2010-ben tízmillióan utaztak, 2020-ban pedig



7. ábra • A Transrapid emslandi próbapályájának északi hurokfordulója

mintegy harmincmillió utas prognosztizálható a városban), ezért néhány évvel ezelőtt elhatározás született a vonal belvárosi végétől való meghosszabbításáról, amely egy városhatáron belüli elágazással egyrészt a városban található másik repülőtér (Hungcsiao [Hong Qiao] repülőtér), másrészt a Sanghajtól mintegy 180 km-re fekvő Hangzsut kapcsolja a meglévő pályaszakaszhoz.

*Tervezett üzemek* • A Transrapid első tervezett üzeme Berlint kötötte volna össze Hamburggal (a 284 km-es távolságot 53 perc alatt tették volna meg a szerelvények 400 km/h maximális sebesség mellett). Az elképzelésbe azonban beleszólt a politika, ugyanis a német parlament a magas (kb. 2,9 milliárd EUR) beruházási költség miatt a kilencvenes évek

közepén nem adta meg a hozzájárulását a munkálatok elkezdéséhez.

Ezután több kisebb, elsősorban városi jellegű üzem tervei láttak napvilágot (Berlinben, Münchenben, Frankfurtban, Dortmundban terveztek Transrapid vonalakat). E tervek közül a legkidolgozottabb a müncheni, ahol a főpályaudvart és a repülőtérrel kötnék össze egy 37,4 km hosszú, kétvágányú vonallal. Az 1,8 milliárd EUR építési költségű vasút pályája 23,3%-a (8,7 km) alagútban, 60,1%-a (22,5 km) terepszinten, 16,6%-a (6,2 km) terepszint felett haladna. 350 km/h maximális sebesség mellett kb. 10 perc lenne a menetidő. A szerelvények tízpercenként követnék egymást.

Az Európában tervezett további vonalak közül elsősorban a Berlin–Varsó–Moszkva, a

megnevezés	költség 2002 (millió euró)	százalékos arány	fajlagos költség (millió euró/ pályakilométer)
földvásárlás	29,9	2,1	0,80
alépitmény-építés	58,5	4,2	1,56
alagútépítés	338,6	24,3	9,05
hídépítés	3,5	0,3	0,09
felépitmény	308,9	22,2	8,26
építőgépek	61,8	4,4	1,65
biztonsági berendezések	52,6	3,8	1,41
üzemeltetési rendszer (bizt. ber. technika nélkül)	44,4	3,2	1,19
energiaellátás	27,9	2,0	0,75
meghajtás	192,6	13,8	5,15
zajvédelem	5,5	0,4	0,15
tervezés	181,5	13,0	4,85
közvetett költségek	85,8	6,2	2,2,9
összesen	1391,5	100	37,21

4. táblázat • A Transrapid tervezett müncheni üzemének építési költségei (2002)



Berlin–Krakkó–Kiev és a Berlin–Budapest–Thesszaloniki viszonylatok említendőek meg. A kontinensen még Hollandiában (Amszterdamból kiinduló körvasút: 230 km 45 perc menetidővel) és az Egyesült Királyságban (London–Glasgow: 800 km 160 perc menetidővel) vetődött fel a mágnesvasút létesítésének gondolata. Európán kívül pedig még az Amerikai Egyesült Államokban, valamint az Egyesült Arab Emírségben foglalkoznak a Transrapid üzem esetleges megvalósításával.

#### *A Transrapid építési költségei*

Mínthogy ezidáig csak egyetlen üzemszerűen működő pálya épült a világon (Sanghaj), ezért

az építési költségek csak a becslések szintjén határozhatók meg. A 4. táblázat 2002-es árszinten a tervezett müncheni üzem költségtételeit tartalmazza. A 37,4 km hosszúságú kétvágányú vonal összköltsége 1391,5 millió EUR, fajlagos költsége 37,21 millió EUR/pálya-km. Ezen összeg mintegy 1,5-2,0 szerezse az adhéziós vasutak építési költségének. A 4. táblázat nem tartalmazza a járművek beszerzési költségét. A háromkocsis TR 09 járművek beszerzési ára 41,1 millió EUR/szerelvény (2002-es áron).

Kulcsszavak: *mágneses lebegtetés, magasvasút, különleges vasút, nagy sebességű vasút*

#### IRODALOM

- Heinrich, Klaus – Kretschmar Rolf (1989): *Magnetbahn Transrapid – Die neue Dimension des Reisens*. Hestra-Verlag, Darmstadt  
 Schach, Rainer – Jehle, P. – Naumann, R. (2006):

*Transrapid und Rad-Schiene-Hochgeschwindigkeitsbahn*. Springer-Verlag, Berlin • [http://download.springer.com/static/pdf/624/bfm%253A978-3-540-28335-5%252F1.pdf?auth66=1390803462\\_oab3926fdb227e6399945boa88577d75&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/624/bfm%253A978-3-540-28335-5%252F1.pdf?auth66=1390803462_oab3926fdb227e6399945boa88577d75&ext=.pdf)

