

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 76 (1958)
Heft: 27

Artikel: Die Tragfähigkeit von Flugpisten aus Beton
Autor: Gruner, G. / Wackernagel, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-64003>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Tragfähigkeit von Flugpisten aus Beton

DK 625.712.65

Von G. Gruner und A. Wackernagel, Ingenieure, Basel

1. Einführung

Der Flughafen Basel-Mülhausen in Blotzheim wurde in den Jahren 1951 bis 1954 erstellt. Er umfasst zurzeit eine Ostwest-Piste von 1600 m Länge und 60 m Breite und eine Nordsüd-Piste von 2370 m Länge und 60 m Breite. Die Piste besteht durchwegs aus einer 24 cm starken unarmierten Pistenplatte, die auf einem 36 cm starken Kiessandkoffer ruht. Die Längsfugen haben einen Abstand von 6 m, die Quertfugen einen solchen von 7 m. Da die Länge der Nordsüd-Piste den grossen Düsenverkehrsflugzeugen der nahen Zukunft nicht mehr genügen wird, wurde in den Jahren 1956/57 ein Projekt für die Erweiterung des Flughafens Basel-Mülhausen ausgearbeitet. Dabei soll die Nordsüd-Piste in einer ersten Etappe auf 3000 m und möglicherweise in einer zweiten Etappe auf 3800 m verlängert werden (Bild 1).

Das Studium der Erweiterung des Flughafens Basel-Mülhausen gab Gelegenheit, die Grundlagen der Dimensionierung der Platten von Flugpisten im Lichte der neueren Verkehrsentwicklung einerseits und der neueren Erkenntnisse und Erfahrungen im Pistenbau andererseits zu überprüfen. Es sollen im folgenden einige Ergebnisse, die für den projektierenden Ingenieur von Wichtigkeit sind, mitgeteilt werden. Zur Diskussion steht eine starre Pistenplatte aus Beton, die auf einer Unterkoffierung aus Kiessand ruht.

2. Belastungen

Nach den Empfehlungen der Internationalen Organisation für Zivilflugwesen muss die Piste eines Flughafens der Klasse BI, welcher auch der Flughafen Basel-Mülhausen angehört, eine Einzelradlast von 45 t mit einem Reifendruck von 8,5 kg/cm² aufnehmen können. Diese Last ist statisch zu verstehen und umfasst noch keine dynamischen Zuschläge, wie sie während des Landens der Flugzeuge auftreten.

Um die Entwicklung der Radlasten von Flugzeugen zu veranschaulichen, sind in Tabelle I einige zivile Verkehrsflugzeuge angegeben, die teils gegenwärtig im Betrieb sind, teils in naher Zukunft in Dienst gestellt sein werden. Die Maschinen sind in der Reihenfolge ihres zunehmenden Totalgewichtes aufgeführt. Dieses wird bei den leichteren Flugzeugen mit Hilfe von Doppelrädern und bei den schwereren mit Hilfe eines Doppelradtandems auf den Belag übertragen.

Die Entwicklung von Mehrtradfahrgeräten fällt in die Zeit des Zweiten Weltkrieges, als die viermotorigen Bomber in Gebrauch kamen, und die Beläge der bestehenden Flugplätze zu versagen begannen. Durch ein Mehrtradfahrgerüst gelingt es, die Beanspruchung des Belages stark heruntersetzen. Man kann dann theoretisch eine gleichwertige Einzelradlast bestimmen, die im Belag bei gleichem Reifendruck gleichwertige Spannungen erzeugt wie die Radgruppe. Die Grösse dieser Last hängt von der Anordnung der Räder am Fahrgerüst, aber auch von der Ausbildung des Belages ab. Die gleichwertige Einzelradlast kann nach Diagrammen ermittelt werden, die in England von G. S. Cooper aufgestellt wurden (Bilder 2 u. 3) und heute international gebraucht werden. Diese gleichwertige Einzelradlast ist in der letzten Kolonne der Tabelle 1 angegeben. Sie wurde für die Pistenausbildung des Flughafens Basel-Mülhausen gerechnet.

Aus der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass sich durch geeignete Konstruktion des Fahrgerüsts die gleichwertige Einzelradlast stark vermindern lässt. Beispielsweise kann für die DC-8, die mit einem Totalgewicht von 130 t in naher Zukunft das schwerste zivile Verkehrsflugzeug sein wird, durch Vierradanordnung die gleichwertige Einzelradlast auf 26 t gehalten werden. Dies bedeutet, dass die DC-8 die Piste kaum stärker beansprucht als die nur halb so schwere DC-7C mit einer gleichwertigen Einzelradlast von 22,8 t. Die in naher Zukunft zu erwartenden Einzelradlasten sind also noch weit

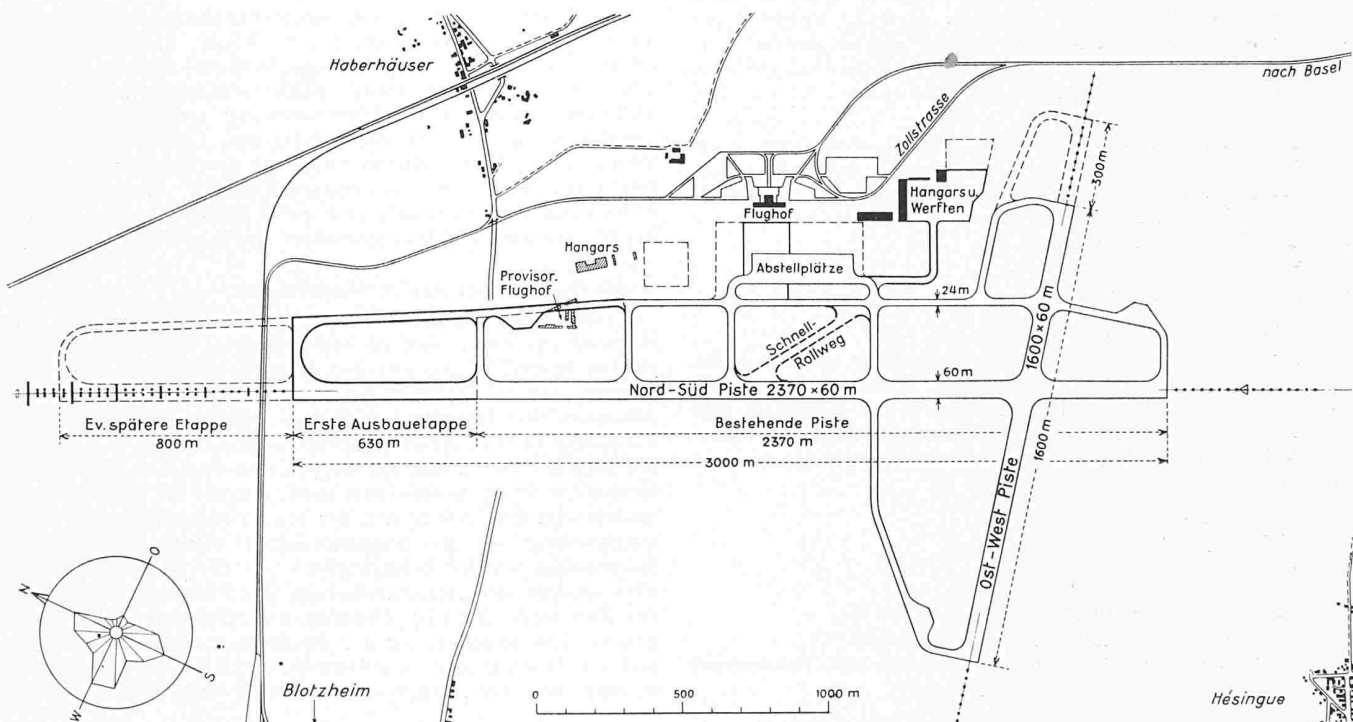


Bild 1. Flughafen Basel-Mülhausen, Uebersicht 1:25 000

Einzelheiten über die geplante Vergrösserung siehe Seite 409

Tabelle 1. Für die Pistenbelastung massgebende Daten grosser Verkehrsflugzeuge

Flugzeugtyp	Totalgewicht t	Anordnung der Haupträder	Last pro Fahrwerkbein t	Last pro Rad t	Reifendruck kg/cm ² cm	Rad- abstand cm	Aequivalente Einzelradlast t
Metropolitan CV-440	22,3	Doppelrad	10,6	5,3	5,2	62,0	8,4
Lockheed Constellation	48,5	Doppelrad	22,4	11,2	6,3	71,2	18,4
Douglas DC-7	55,5	Doppelrad	25,0	12,5	8,8	78,0	19,2
Lockheed Super Constellation	59,0	Doppelrad	27,6	13,8	8,0	71,2	22,4
Douglas DC-7C	64,9	Doppelrad	29,4	14,7	8,8	77,0	22,8
Comet IV	70,0	Doppelrad tandem	30,8	7,7	11,0	46,0/97,0	15,6
Douglas DC-8	130,1	Doppelrad tandem	61,2	15,3	9,4	76,2/139,7	26,0

unterhalb den 45 t, die als Standardlast empfohlen werden. Es ist wahrscheinlich, dass diese erst in ferner Zukunft erreicht wird. Im Augenblick ist es auch technisch noch gar nicht möglich, Räder herzustellen, die eine Last von 45 t aufnehmen können.

3. Dynamische Wirkungen

Wenn ein Flugzeug theoretisch richtig landet, so dass seine Bewegung im Moment des Berührens der Pistenoberfläche genau tangential zu derselben erfolgt, überträgt sich die Last des Flugzeuges allmählich von den Tragflächen auf die Räder. Dies hat zur Folge, dass mit Abnahme der Ausrollgeschwindigkeit die Pistenbelastung von Null auf die totale Last des Flugzeuges zunimmt. Man beobachtet, dass häufig diese theoretische Landung nicht erfolgt, sondern, dass das Flugzeug mit einer kleineren oder grösseren vertikalen Geschwindigkeitskomponente auf die Piste aufschlägt und dadurch einen Landestoss auslöst, der kurzfristig die Piste mit einem Mehrfachen des Ruhengewichtes des Flugzeuges belasten kann.

Infolge des Landestosses entstehen dynamische Kräftewirkungen auf den Pistenbelag. Beim Aufprall auf die Piste werden die Federung im Fahrgestell und die Pneus infolge der vertikalen Komponente der Geschwindigkeit zusammengedrückt. Die Wucht des Stosses wird gedämpft durch den Luftwiderstand der Tragflächen. Die zusammengedrückte Federung übt eine erhöhte Kraft auf die Piste aus, die ein Mehrfaches der statischen Last betragen kann.

Beispielsweise wird theoretisch bei einer Radlast von 45 t, einer Sinkgeschwindigkeit von 3,0 m/s, wenn eine Zusammendrückung der Federung im Fahrgestell um 50 cm angenommen wird, die momentane Kraft auf die Pistenoberfläche 130 t. Dies entspricht beinahe der dreifachen statischen Last. Bei grösserer Sinkgeschwindigkeit kann sie noch grösser werden. Die Kraft erreicht nach $\frac{1}{4}$ Sekunde ihr Maximum und klingt nach $\frac{1}{2}$ Sekunde wieder auf die statische Last ab. Die Piste kann also beim Landestoss während rund $\frac{1}{2}$ Sekunde dem dreifachen Betrag der statischen Last unterworfen werden.

Beim Landestoss steht der Raschheit des Vorganges die Trägheit der Piste und des Untergrundes gegenüber. Die Spannungen im Betonbelag werden nicht grösser als infolge statischer Last¹⁾. Es genügt daher, die Pisten nur für die statische Radlast zu berechnen.

4. Temperaturänderungen

Gleichmässige Temperaturänderung

Wenn sich eine Pistenplatte gleichmässig abkühlt, zieht sie sich gleichmässig zusammen. Dieser Bewegung stellt sich die Reibung zwischen Piste und Untergrund entgegen, und es entstehen in der Platte Zugspannungen. Umgekehrt entstehen bei Ausdehnung in ihr Druckspannungen. Dabei gilt die Gleichung

$$\sigma = \frac{\gamma l \mu}{2},$$

wobei

- σ = Spannungen im Beton in kg/cm²
- γ = Einheitsgewicht des Betons in kg/cm³
- μ = Reibungskoeffizient zwischen Beton und Untergrund
- l = Abstand der Fugen in cm

¹⁾ Gemäss Untersuchungen der EMPA, vergleiche Quellen-Nachweis am Schluss der Arbeit.

Es empfiehlt sich, für den Reibungskoeffizienten μ zwischen Platte und Untergrund mindestens den Wert 1,0 einzusetzen, auch wenn zwischen Betonplatte und Unterkoffierung besondere Gleitschichten eingebracht werden. Hierzu wird auf Versuche am englischen Road Research Laboratory hingewiesen. Unter Laboratoriumsbedingungen wurde ein μ -Wert von 0,57 bestimmt, während bei einer ausgeführten Strasse Reibungskoeffizienten zwischen 1,25 und 2,0 gefunden wurden. Messungen auf dem Flughafen Alger-Maison Blanche ergaben Reibungskoeffizienten von 1,4. Die Versuche zeigen, dass die Reibung mit zunehmender Verschiebung zunimmt. Bei einer Verschiebung um 0,2 bis 0,5 mm hat sie sich aber bereits zu ihrem vollen Wert entwickelt.

Die infolge Reibung der Platte entstehenden Druck- und Zugspannungen sind bei Anordnung einer genügenden Anzahl Dehnungsfugen nur gering. Bei langen fugenlosen vorgespannten Pistenplatten stellen sich jedoch ernste konstruktive Probleme.

Ungleichmässige Temperaturänderung

Wenn sich zwischen Plattenoberseite und Plattenunterseite eine Temperaturdifferenz einstellt, so entstehen in der Platte Biegespannungen. Für eine allseitig unendlich ausgedehnte Platte sind sie unabhängig von der Plattenstärke. Die Spannungen werden wie folgt bestimmt:

$$\sigma = \frac{\Delta T \omega E}{2(1 - 1/m^2)}$$

- wobei σ = Spannungen im Beton in kg/cm²
- ΔT = Temperaturdifferenz in °C
- ω = Temperaturexpansionskoeffizient 0,01/1000 in 1/°C
- E = Elastizitätsmodul in kg/cm²
- m = Querdehnungszahl

Es hat sich gezeigt, dass die Pistenplatten als unendlich ausgedehnt anzusehen sind, da die Fugen nie ganz durchreissen und einen grossen Teil der Momente übertragen können. Die Spannungen infolge ungleichmässiger Temperaturänderung können eine Grössenordnung erreichen, die derjenigen infolge Verkehrslast vergleichbar ist. Auf Grund von Versuchen in Zürich-Kloten muss bei Erwärmung der Oberfläche mit einer Temperaturdifferenz von $\frac{2}{3}$ °C und bei einer Abkühlung der Oberfläche mit einer solchen von $\frac{2}{9}$ °C pro Zentimeter Plattenstärke gerechnet werden²⁾.

5. Die Spannungen infolge Verkehrslast

Durch Belastungsversuche von Pistenplatten ist hinreichend erwiesen, dass es notwendig ist, sämtliche Einzelplatten in den Fugen gegenseitig zu verdübeln bzw. zu verzahnen. Dadurch können die einzelnen Betonplatten zum Zusammenwirken gezwungen werden. Die Momente für eine Belastung in Plattenmitte werden reduziert. Die Belastungen am Rande oder in den Ecken von Einzelplatten, die bei unverzahnter Fuge grosse Beanspruchungen der Platte verursachen und zum Abbrechen der Ecken führen, werden durch Verdübelung auf die Nachbarplatten übertragen, und die Spannungen werden nahezu gleich wie für eine Belastung in Plattenmitte. Zur Dimensionierung der Pistenplatte ist somit der Fall einer allseitig unendlich ausgedehnten Platte massgebend. Zur Bestimmung der Spannungen hat sich die Formel von Westergaard eingebürgert. Nach ihr ist das Moment in einer unendlich ausgedehnten Platte unter der Lastmitte:

²⁾ Gemäss Untersuchungen der EMPA, vergleiche Quellen-Nachweis am Schluss der Arbeit.

$$M = \frac{1 + \mu}{4 \pi} \left(\ln \frac{l}{a} + 0,616 \right) P$$

wobei $l = \sqrt[4]{\frac{D}{C}}$ in cm

a = Lastkreisradius in cm

P = Last (kg)

μ = Querdehnungszahl 1/m

$$D = \frac{E h^3}{12 (1 - \mu^2)}$$

E = Elastizitätsmodul in kg/cm²

h = Dicke der Platte in cm

C = Bettungsziffer in kg/cm³

In Bild 4 ist eine typische Kurve des Momentenverlaufes für Probabelastungen auf dem Flughafen Basel-Mülhausen aufgezeichnet. Zum Vergleich ist der theoretische Momentenverlauf nach der Theorie von Westergaard eingezeichnet. Wie ersichtlich, ist hier das gemessene Moment unter der Last geringer, als nach der theoretischen Kurve zu erwarten wäre.

Bei Belastung einer Platte auf Bruch sind nicht die Zugspannungen auf Plattenunterseite unter der Last massgebend, sondern es treten kreisförmige Risse rund um die Last auf der Plattenoberseite auf. Trotzdem muss die Forderung nach grösster Rissefreiheit auch auf der Plattenunterseite erhoben werden. Denn die Risse können sich auf die Plattenoberseite fortsetzen, und das Wasser kann dann durch die Platte in den Untergrund eindringen.

Die Formel von Westergaard ist eine Näherungsformel wie viele Formeln im Tiefbau, die auf Grund von Versuchen aufgestellt wurden. Sie kann für eine grobe erste Dimensionierung einer Pistenplatte Verwendung finden.

Aus den oben angeführten Belastungsversuchen sowie zahlreichen Versuchen im Ausland können noch keine allgemeinen Schlüsse gezogen werden. Bei jedem grösseren Bauvorhaben sind Probabelastungen unerlässlich. Zur Ergänzung wurden die Versuchswerte mit einer Näherungsrechnung überprüft. Es wurde festgestellt, dass diese Rechnung für eine Vordimensionierung brauchbare Werte liefert und dass sie ausserdem den Veruchresultaten angepasst werden kann.

Es wird von einer kreisförmigen Platte mit freien Rändern ausgegangen. Die Belastung greift im Mittelpunkt an. Die Durchbiegung der Platte wird als Rotationsparaboloid angenommen unter der Bedingung, dass die gesamte Formänderungsenergie ein Minimum werden soll. Mit der Bettungsziffer wird die Reaktion des Bodens berechnet. Unter der Bodenpressung als Belastung können dann mit Hilfe der Elastizitätstheorie die Momente bestimmt werden. Der Spannungsverlauf lässt sich aber durch Ändern des Plattenradius r_0 dem experimentellen Spannungsverlauf anpassen.

Die ermittelten radialen Biegemomente M_r können wie folgt beschrieben werden:

1. Ausserhalb der Belastungsfläche $a < r < r_0$

$$M_r = \frac{CAr_0^2}{8} \left[2 \ln \frac{r}{r_0} (1 + \mu) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right) (3 + \mu) \right] + \frac{CB r_0^4}{16} \left[2 \ln \frac{r}{r_0} (1 + \mu) + \frac{1}{6} \left(1 - \frac{r^4}{r_0^4} \right) (5 + \mu) \right]$$

2. Innerhalb der Belastungsfläche $0 < r < a$

$$M_r = M_a + \left(\frac{P}{\pi a^2} - CA \right) \frac{3 + \mu}{16} (a^2 - r^2)$$

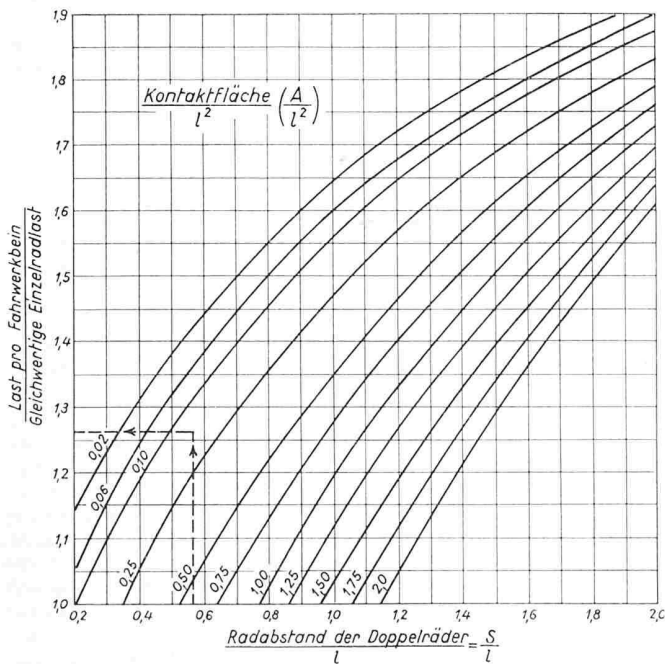


Bild 2. Graphikon für die Bestimmung der gleichwertigen Einzelradlast für Doppelradfahrwerk

$$l = \sqrt[4]{\frac{E h^3}{12 (1 - \mu^2) C}}$$

l = Relative Steifigkeit

E = Elastizitätsmodul des Betons

h = Mächtigkeit der Betonplatte

μ = Poisson'sche Zahl

C = Reaktionsmodul des Unterbaus

A = Totale Kontaktfläche der Doppelräder eines Fahrwerkbeines

S = Radabstand der beiden Doppelräder

Beispiel: Metropolitan CV-440

E = 400 000 kg/cm²

μ = 0,2

C = 3,0

h = 24 cm

S = 62 cm

l = 111 cm

Gewicht pro Fahrwerkbein = 10,6 t

Gleichwertige Einzelradlast = 10,6/1,26 = 8,4 t

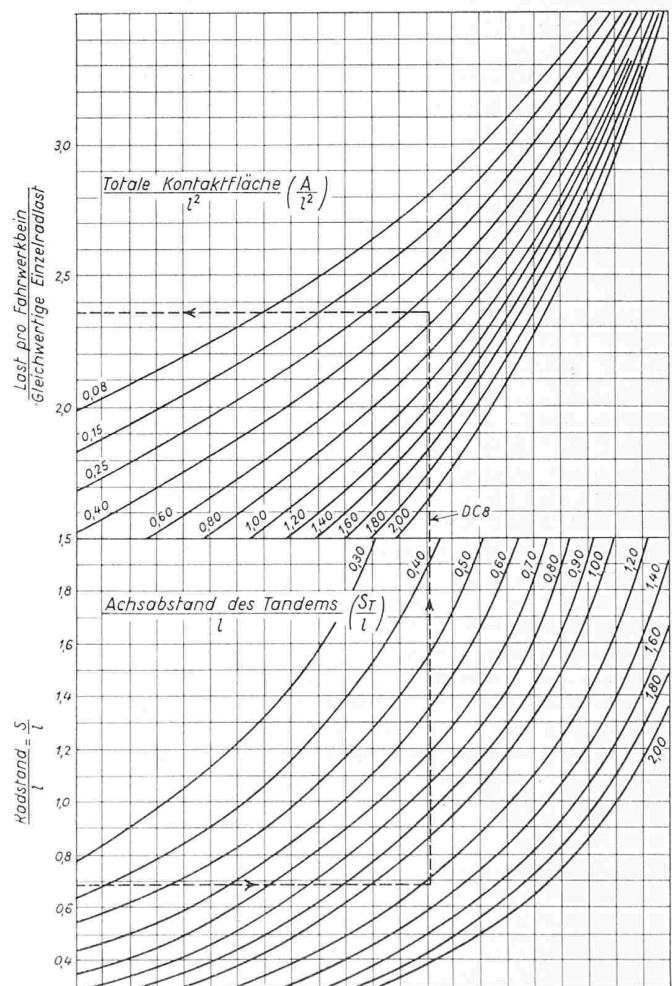


Bild 3. Graphikon für die Bestimmung der gleichwertigen Einzelradlast für Doppel-Tandem-Fahrwerk

S_T = Achsabstand des Tandems

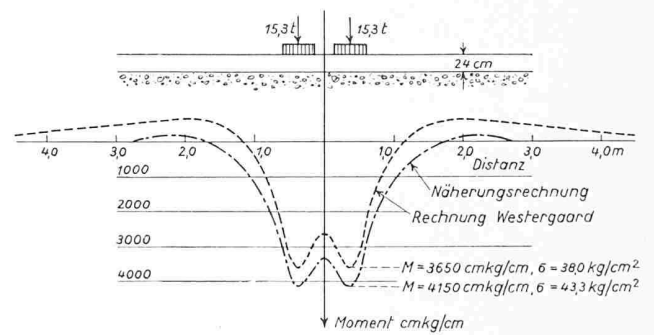
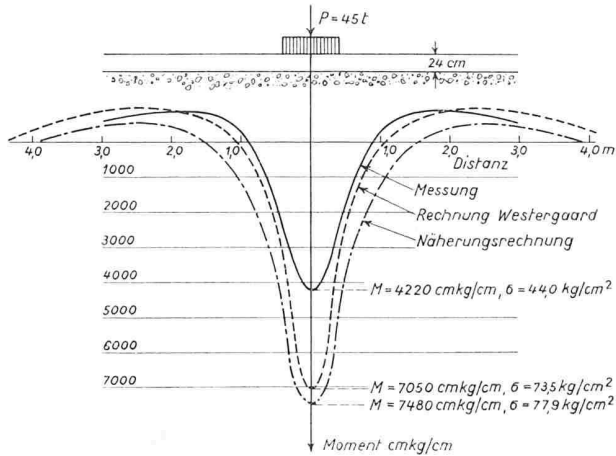


Bild 5. Momente in einer Pistenplatte infolge der Raddrücke einer DC-8. Annahme: $C = 3,5 \text{ kg/cm}^2$, $E = 400\,000 \text{ kg/cm}^2$, $\mu = 0,2$

Bild 4 (links). Momente in einer Pistenplatte infolge einer Einzelradlast von 45 t. Versuchsplatte B4, Flughafen Basel-Mülhausen, Messung gemäss Untersuchungen der EMPA. Annahmen wie oben

Dabei sind die Konstanten

$$A = \frac{P}{\pi C r_0^2} + \frac{P r_0^2}{2\pi C \left(\frac{r_0^4}{6} + \frac{16(1+\mu)D}{C} \right)}$$

$$B = \frac{P}{\pi C \left(\frac{r_0^4}{6} + \frac{16(1+\mu)D}{C} \right)}$$

Die mit Hilfe der Näherungsrechnung ermittelten Momente sind ebenfalls in den Bildern 4 und 5 dargestellt.

6. Festigkeit des Betons

Bei den Belastungsversuchen der Probeplatten des Flughafens Basel-Mülhausen zeigte sich, dass die Biegezugfestigkeiten der Betonmischung nicht den erwünschten Werten entsprachen. Man hatte zur Betonherstellung den Kiessand der Rheinterrassen, wie sie im Flugplatzgebiet vorkommen, verwendet. Die Zementdosierung war anfänglich mit 250 kg/m^3 für den Unterbeton und 325 kg/m^3 für den Oberbeton vorgesehen. Wohl der Hauptgrund für das schlechte Verhalten des Betons war der, dass im Kiessand der Rheinterrassen der Anteil des Kornes $< 0,2 \text{ mm}$ nur ungenügend vertreten ist.

Es wurden unter Beiziehung der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt Versuche durchgeführt. Dabei sind dreizehn Probeplatten mit verschiedener Betonzusammensetzung betoniert worden. Um den Mangel an Feinkorn auszugleichen, hat man versuchsweise Steinmehl, verschiedene plastifizierende Betonzusätze oder hydraulischen Kalk zugesetzt, sowie auch das grösste Korn und die Zementdosierung verändert. Es zeigte sich, dass die plastifizierenden Zusätze wohl die Verarbeitbarkeit verbesserten, dass aber schon eine kleine Ueberdosierung starke Festigkeitsabfälle verursachte. Durch Zusatz von hydraulischem Kalk konnten die besten Ergebnisse erzielt werden. Die Verarbeitbarkeit war günstig. Man erreichte eine geschlossene Oberfläche und eine gute Festigkeit. Auf Grund der Versuche legte man die Betonzusammensetzung gemäss Tabelle 2 fest.

Die Platte hatte eine Stärke von 24 cm, davon 18 cm Unterbeton und 6 cm Oberbeton. Beim Bau der Piste sind die Druckfestigkeit und die Biegezugfestigkeit des Pistensbetons regelmässig überprüft worden. Der Verlauf der Festigkeiten in den ersten 90 Tagen nach der Einbringung für die Ostwest-Piste und die Nordsüd-Piste ist in den Bildern 6 und 7 dargestellt. Die durchschnittliche Biegezugfestigkeit des Unterbetons nach 365 Tagen betrug in der Nordsüd-Piste $67,6 \text{ kg/cm}^2$. Mit einem Sicherheitsfaktor von 1,1 beträgt also die zulässige Spannung rund 60 kg/cm^2 .

Tabelle 2. Betonzusammensetzungen

	Unterbeton	Oberbeton
Portlandzement	275 kg/m^3	360 kg/m^3
Hydraulischer Kalk	12,5 kg/m^3	15 kg/m^3
Sand 0—3 mm	378 l/m^3	458 l/m^3
3—8 mm	160 l/m^3	157 l/m^3
Kies 8—30 mm	333 l/m^3	653 l/m^3
30—50 mm	426 l/m^3	—

7. Tragfähigkeit der ausgeführten Pistenplatte und Widerstand gegen Einflüsse der Düsenflugzeuge

Zur Ueberprüfung der Tragfähigkeit der ausgeführten Piste in Basel-Blotzheim wird eine zulässige Biegezugfestigkeit von 60 kg/cm^2 zugrunde gelegt. Als Belastung soll einerseits die DC-8 mit einem Totalgewicht von 130 t und andererseits eine Einzelradlast von 45 t angenommen werden. Der theoretische Verlauf der Momente und Spannungen nach Westergaard und gemäss Näherungsrechnung infolge einer statischen Belastung durch die DC-8 ist in Bild 5 dargestellt. Die grössten Zugspannungen werden $43,3 \text{ kg/cm}^2$ sein. Bei einer zulässigen Spannung von 60 kg/cm^2 können noch zusätzliche Spannungen von 17 kg/cm^2 infolge einer Temperaturdifferenz $\Delta T = 7^\circ \text{ C}$ aufgenommen werden. Es zeigt sich also, dass für die Verkehrsentwicklung der nahen Zukunft die Tragfähigkeit der ausgeführten Piste genügt.

Infolge einer statischen Einzellast von 45 t mit einem Reifendruck von $8,5 \text{ kg/cm}^2$ wird die rechnerisch grösste Spannung nach Westergaard $73,5 \text{ kg/cm}^2$ (Bild 4). Bei raschem Rollen der Last auf der Piste bleiben diese Spannungen bedeutend geringer, so dass die Plattendimensionen genügen.

Es besteht die Gefahr, dass bei stärker zunehmenden Belastungen im Verkehr eine Platte durch Ermüdung von unten her anreiss. Wenn sich diese Risse zur Oberfläche fortsetzen, ist dem Wasser der Eintritt in den Untergrund offen, und die Piste kann im Winter durch Frosthörungen beschädigt werden. Die Verwerfungen der Platte werden die Verkehrssicherheit beeinträchtigen. Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Beanspruchungen der Pisten unter den durch die Vorschriften gegebenen Lasten die obere Grenze des Zulässigen erreicht haben.

Eine weitere Beanspruchung von Pisten, die in üblicher Weise aus Einzelplatten ausgeführt sind, rührt von den heissen Gasen her, die aus den Düsen ausströmen. Diese können die Vergussmasse in den Fugen zerstören. So wird ebenfalls der Weg für eindringendes Wasser geöffnet und zusätzlicher Aufwand für den Unterhalt verursacht. Es besteht auch die Gefahr, dass die Vergussmassen bei grosser Hitze zu brennen beginnen. Trotzdem die neuen Verkehrsflugzeuge so gebaut werden, dass die Erwärmung der Pistenoberfläche begrenzt wird, ergibt sich die Forderung nach möglicher Weglassung der Fugen.

Es muss also studiert werden, auf welche Weise die Piste in den wichtigsten Bereichen mit möglichst wenig Fugen ausgebildet werden kann. Dabei wird vor allem an die Pistenenden gedacht, die im Hinblick auf das Landen der Flugzeuge eine erhöhte Betriebssicherheit aufweisen sollten.

8. Ausbildung der Betonpisten mit Hilfe von Vorspannung

Ein Belag, der allen oben angeführten Forderungen bezüglich Tragfähigkeit und Fugenlosigkeit entspricht, kann durch Vorspannung erreicht werden. Vorgespannte Beläge sind in letzter Zeit verschiedentlich, vorwiegend versuchsweise, auf Strassen und Pisten ausgeführt worden. Auch in der Schweiz besteht eine Versuchsstrecke aus vorgespanntem Beton auf der Strasse Möriken-Brunegg. Die vorgespannten Beläge haben den Vorteil der Fugenlosigkeit und sehr guter Tragfähigkeit mit hohen statischen Reserven.

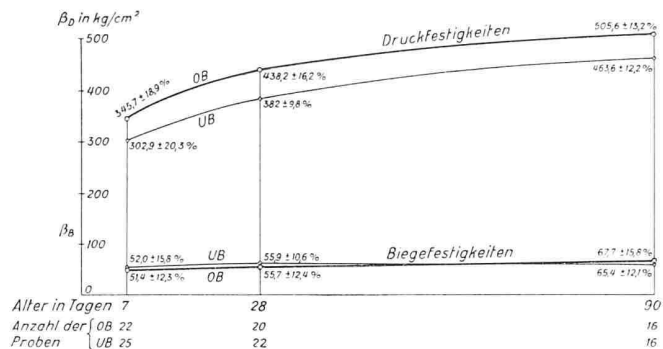


Bild 6. Betonfestigkeiten West-Ost-Piste 1952

Bei der klassischen Ausführungsart der Beläge wird die Dicke der Platte eine Funktion der Zugfestigkeit. Diese war aber immer eine besondere Schwäche des Betons. Es wurden deshalb bis heute Risse in Kauf genommen, indem in Form von Scheinfugen schwache Stellen geschaffen wurden, in denen Risse aufzutreten hatten. Eine vorgespannte Platte kann unter Belastung auch reißen, aber die Risse schliessen sich bei der Entlastung wieder. Es ist jedoch beizufügen, dass trotz Einsparungen im Unterbau und in der Plattenstärke die vorgespannte Platte der klassischen nicht vorgespannten Platte kostenmässig unterlegen ist. Sie ist für wichtige Bereiche des Bauwerks vorbehalten. Die Fugenlosigkeit und hohe Tragfähigkeit bieten aber eine so grosse Betriebssicherheit, dass sich Mehrausgaben lohnen dürften. In den letzten Jahren sind in Frankreich umfangreiche Erfahrungen über vorgespannte Pistenbeläge gesammelt worden.

Erstmals ist eine vorgespannte Belagplatte auf dem Flugplatz Orly für die Verlängerung der Piste Nr. 3 bereits im Jahre 1946/47 ausgeführt worden. Es handelte sich um ein 400 m langes und 60 m breites Stück. Die Platte war an den Pistenenden durch Widerlager gehalten. Die Vorspannung wurde durch Kabel in Querrichtung erreicht und mit Hilfe von Gleitfugen unter 45° auf die Längsrichtung übertragen. Sie betrug 34 kg/cm², die Plattenstärke 16 cm. Eine Weiterentwicklung war der Bau des Rollweges 7 auf dem Flugplatz Orly, der 430 m lang und 25 m breit war. Gegenüber der Verlängerung der Piste 3 wurde die Vorspannung auf 18 kg/cm² vermindert, die Plattenstärke auf 18 cm erhöht. Die Vorspannung in Querrichtung erreichte man mit Kabeln in Abständen von 1,33 m. Die Gleitfugen sind weggelassen worden. Statt dessen wurden alle 107 m in die Fugen Druckpressen eingebaut. Diese setzte man nach dem Betonieren unter Druck und presste die Platte gegen die Widerlager. Betoniert wurde in einer Schicht bei einer Zementdosierung von 330 kg/m³. Der Beton ist pervibriert worden. Er ruhte auf einer 4 cm starken Sandschicht und einer Lage Kraftpapier.

Auf Grund der guten Erfahrungen von Bau und Betrieb des Rollweges 7 in Orly sah man für den neuen Flugplatz Alger-Maison Blanche eine vorgespannte Hauptpiste vor. Die Piste ist 2430 m lang und 60 m breit. Die Platte ruht auf einem 30 cm starken Koffer mit 3 cm Sand und einer Lage Kraftpapier. Sie ist 18 cm stark. Die Vorspannung beträgt 18 kg/cm² in der Querrichtung und mindestens 18 kg/cm² in der Längsrichtung. Die Betondosierung betrug 350 kg/m³. Die Platte wurde in einer Schicht betoniert.

Die Quervorspannung wurde mit Kabeln erreicht, die alle 1,33 m angeordnet sind. Die Längsvorspannung wird durch Einklemmen der Platte zwischen zwei Widerlagern bewerkstelligt. Die Widerlager sind an den beiden Pistenenden angeordnet und prinzipiell gleich ausgebildet wie die Widerlager des Rollweges 7 in Orly. Es sind Betonplatten, die unter die Piste laufen und mit einer Erdauflast beschwert werden. Sie nehmen den Widerlagerdruck durch Reibung zwischen der Platte und dem Erdmaterial auf. Die Pistenplatte ist mit Kabeln in das Widerlager gehängt, so dass kleine Verschiebungen des Widerlagers einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Vorspannkraft haben. Das Widerlager ist in Bild 8 dargestellt. Druckpressen sind in den Fugen alle 300 m angeordnet. Besondere Massnahmen mussten gegen das Ausknicken der Pistenplatte getroffen werden. Während des Baues, bevor die Vorspannung der Gesamtpiste vorge-

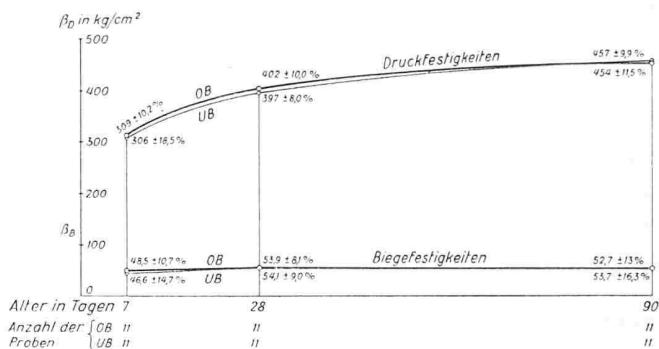


Bild 7. Betonfestigkeiten Nord-Süd-Piste 1953

nommen werden konnte, waren provisorische Druckpressen in den Fugen alle 100 m angeordnet, die unter Druck gesetzt werden konnten, um Schwindrisse zu verhindern.

Diese Konstruktionsart verursacht wohl für die Längsvorspannung nur geringen Aufwand, nämlich die Druckpressen in den Fugen und die beiden Widerlager an den Pistenenden; die Längsvorspannung variiert aber im Laufe der Zeit in weiten Grenzen.

Der Mittelteil der Piste dieser Länge kann infolge Reibungswiderstand zwischen Platte und Untergrund keine Bewegungen ausführen. Es wirken sich daher im Mittelteil die Temperaturspannungen voll aus nach der Formel

$$\sigma = \omega \cdot \Delta T \cdot E$$

wobei ω = Temperaturdehnungsziffer (0,01 ‰)

ΔT = Temperaturänderung

E = Elastizitätsmodul

Auf dem Flugplatz Alger-Maison Blanche wurde eine anfängliche Vorspannung von 53 kg/cm² gewählt. Für die Berechnung der Spannungsänderungen wurde eine Temperaturänderung von 50 ° C und ein Elastizitätsmodul von 140 000 kg/cm² für den Beton zugrunde gelegt. Es ergibt sich somit eine Spannungsänderung von 70 kg/cm² oder ± 35 kg/cm², wenn die ursprüngliche Vorspannung bei mittlerer Jahrestemperatur angebracht wird. Die Spannungen verändern sich dann in den Grenzen von 18 kg/cm² und 88 kg/cm². Bei der Flugpiste des Flughafens Basel-Mülhausen wurde ein weit höherer Elastizitätsmodul bestimmt. Die Spannungsamplitude würde somit vergrössert, und es könnten auch Zugspannungen auftreten. Es empfiehlt sich daher, die Konstruktionsweise von Alger-Maison Blanche noch weiterhin mit Vorsicht zu erproben.

Zur Prüfung der Tragfähigkeit der Piste wurde auf dem Flugplatz Orly eine erwähnenswerte Belastungsmaschine gebaut. Diese erlaubte wiederholte Belastung der Piste auf eine Kreisfläche von 75 cm Durchmesser. Die Last erreichte in 30 Sekunden ihr Maximum und sank sofort nachher wieder auf Null. Solche Belastungszyklen folgten sich in beliebiger Zahl. Es zeigte sich, dass sich die Verformung der Platte mit dem Logarithmus der Lastwechsel vergrösserte. Es konnten mehrere tausend Lastwechsel mit der gleichen Last ausgeführt werden. Die Spannungen in der Platte bei der ersten Belastung erreichten etwa 60 % des Wertes von Westergaard. Dies ist wohl auf die kurze Belastungsdauer zurückzuführen. Die Versuche zeigten, dass eine nichtvorspannte Platte von 35 cm Stärke eine unbegrenzte Zahl Lastwechsel von 45 t aufnehmen kann, während eine Platte von 18 cm Stärke und einer Vorspannung von 18 kg/cm², gemäss der Ausführung von Alger-Maison Blanche, eine unbegrenzte Zahl Lastwechsel von 60 t aufnehmen kann.

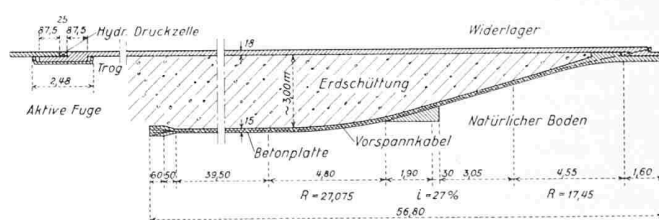


Bild 8. Flughafen Alger-Maison Blanche, Vorgespannte Piste, Ausbild der Widerlager und Fugen

Literaturangaben

Organisation de l'aviation civile internationale: Standards Internationaux et pratiques recommandées. Aérodomes, Annexe 14 à la convention relative à l'aviation civile internationale.

H. M. Westergaard: Stresses in concrete pavements computed by theoretical analysis. «Public Roads» Vol. 7, No. 2, April 1926.

P. Souther: Der Pistenbelag für moderne Grossflughäfen. SBZ, Bd. 126, No. 1, 7. Juli 1945.

G. S. Cooper: The influence of multiple wheel under carriages on the design and evaluation of airfield pavements. «Proc., Inst. of Civil Engineers.» Session 1951—52.

D. Cot, E. Becker, J.-P. Fontaine: Les réalisations de l'aéroport de Paris. «Travaux», 39^e année, No. 248, Juin 1955.

J. L. Bonnenfant, M. Pousse, J. Gabriel, R. Pigeot: L'aérodrome d'Alger-Maison Blanche. «Travaux», 39^e année, No. 249, Juillet 1955.

D. Cot, E. Becker, R. Lorin: Détermination de la force portante des pistes d'aérodomes. «Travaux», 39^e année, Nr. 253, Novembre 1955.

B. Freibauer: Vorgespannte Betondecke für die Startbahn am Flughafen Schwechat bei Wien. «Oesterr. Bauzeitschrift», 10. Jahrgang, Heft 4, April 1955.

J. P. Stoll: Prestressed Concrete Roads. «Proc. Inst. of Civil Eng.» Vol. 4, No. 3, Octobre 1955.

A. J. Harris: Prestressed Concrete Runways: History, Practice and Theory. «Proc. Inst. of Civil Eng.» Vol. 6, Session 1956—57, January 1957.

Edg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt: Schlussbericht über die durchgeführten Untersuchungen an der Versuchspiste Kloten. Auftrag der Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich (EMPA Nr. 7500, 1946).

Adresse der Verfasser: Nauenstrasse 7, Basel.

Auf dem Wege zur besseren Ausnützung des Baulandes

DK 333.66

Von Arch. Wolfgang Naegeli, Zürich

In erfreulich kurzer Zeit hat die Mehrzahl der Fachleute, die sich mit Städtebau und Landesplanung befassen, erkannt, dass bei der rapid ansteigenden Bevölkerungszahl der Schweiz nur eine differenzierte, mit dem Boden haushälterisch umgehende Bauweise der Landverschwendung zu steuern vermag. Das Bild der totalen und uniformen Verstädterung des Mittellandes ist längst kein Angsttraum empfindlicher Seelen mehr, sondern eine Realität von beunruhigender Konsequenz!

Es ist daher ein Gebot der Zeit, Mittel und Wege zu finden, um zu retten, was zu retten ist. Dass selbst mit der recht hohen Ausnutzungsziffer von 1,0 bei gemischter Bebauung noch hygienisch einwandfreie und abwechslungsreiche, ja sogar locker wirkende Ueberbauungen möglich sind, hat Hans Marti in Nr. 52 des letzten Jahrgangs der SBZ gezeigt. Kein Wunder, vergrössert sich der Kreis der Anhänger differenzierter, durch Ausnutzungsformeln festgelegter Bauzonen von Tag zu Tag. In fast jeder Gemeinde, die mit dem Erlass oder der Revision einer Bauordnung beschäftigt ist, steht dieses Thema auf der Traktandenliste. Es haften aber auch diesem modernsten Instrument der Bauplanung und Gesetzgebung noch *Mängel* an, die es zu erkennen und zu beseitigen gilt:

1. In Altquartieren besteht geringe Möglichkeit, die Vorteile differenzierter Bebauung zu nutzen. In dicht bebauten, im Grundbesitz meist stark zersplitterten Zonen müssen enorme Kapitalien eingesetzt werden, um genügend grosse Gebiete freizulegen und differenziert zu erneuern. Wie oft torpediert vielleicht nur ein einziger, nicht verkaufswilliger Eigentümer das ganze Unternehmen! In erst teilweise überbauten Quartieren ist die Situation nicht besser: Hier sind die Besitzer der neueren Häuser meist wenig an der Aenderung der Bauvorschriften interessiert. Im Gegenteil, sie setzen oft alle Hebel in Bewegung, damit der liebe Nachbar keine Vorteile erhält, die ihnen selbst versagt geblieben sind. Auch die gestalterischen Schwierigkeiten müssen in Rechnung gestellt werden, heisst es doch Quartiere zu vollenden, in welchen die schon vorhandenen Gebäude nach anderen Prinzipien disponiert sind.

Die Entwicklung und Sanierung des bestehenden Baugebietes muss unzweifelhaft die Hauptaufgabe der Zukunft sein. Sie wird von Jahr zu Jahr dringlicher, denn innert zwei bis drei Jahrzehnten erreichen fast alle im 19. Jahrhundert erstellten Gebäude die Abbruchreife; nicht etwa wegen Bau-fälligkeit, sondern infolge der erhöhten Wohnansprüche, der hygienischen Erkenntnisse, der technischen Weiterentwicklung der Installationen, der Diktatur des Verkehrs im Städtebau und der Wertsteigerung des Baulandes.

2. Die Verwurzelung des Volkes mit dem Grundeigentum, der Wunsch nach einer Wohnung im eigenen Hause, auch beim Mittelstand, war seit je ein Fundament der Demokratie. Noch heute ist das Interesse am Grundbesitz gross. Und doch geht dieser Teil des Volksvermögens mehr und mehr in die Hände von Grossunternehmern, Versicherungen, Genossenschaften, öffentlichen Verwaltungen und Immobilien-Aktiengesellschaften über. Gegen sie hat der private Käufer einen schweren Stand. Die Einführung der Nutzungsziffern verstärkt diese unerwünschte Entwicklung beträchtlich. Bei kleinen Parzellen bleibt die Variationsmöglichkeit gering. Der Grossunternehmer, der zahlreiche Bauten auf zusammenhängendem Grundstück erstellt, kann erst das ganze Register der Vorteile

ausschöpfen und dadurch besser und rationeller bauen. Dies erlaubt ihm auch etwas höhere Preise für das Land zu bezahlen.

Der Weg zur Baubewilligung ist länger und risikoreicher, ohne Beizug eines spezialisierten Anwalts wenig empfehlenswert und somit kostspielig, falls nicht ein firmaeigener Jurist zur Verfügung steht. — Gründe genug, dem privaten, «nebenamtlichen» Bauherrn und Grundbesitzer das Leben schwer zu machen!

3. In *Zukunft* werden sich weitere Nachteile einstellen: Es ist die Praxis der Behörden, durch Servitute (Reverse) die einmal gewählte Ausnutzungsvariante und Baumassenverteilung dauernd festzulegen. Damit soll verhindert werden, dass nach Vollendung der Gesamtanlage — speziell bei allfälliger Parzellierung zwecks Einzelverkauf — die Nutzung ganz oder teilweise frei gehaltener Grundstücke erhöht werden kann. Mit der Baubewilligung sind in der Regel Auflagen etwa folgenden Wortlauts verbunden: «Der Gesuchsteller verpflichtet sich, sein Grundstück zu keinen Zeiten baulich weiter auszunutzen, als nach den heute bewilligten Plänen. Dieser Revers ist vor Baubeginn im Grundbuch einzutragen.»

Niemand glaubt, dass die Neubauten der Gegenwart für die Ewigkeit oder auch nur für Jahrhunderte gebaut würden. Die Praxis zeigt, dass unsere im Tempo so sehr beschleunigte Zivilisation Umbauten am laufenden Band bedingt. Die Gesamtlebensdauer eines Bauwerks verkürzt sich gegenüber früheren Zeiten immer mehr.

Wer schon mit Behörden über die Ablösung oder Aenderung von Baubeschränkungen verhandelt hat, weiss, welche Schwierigkeiten selbst die Beseitigung uralter, gänzlich überholter Dienstbarkeiten verursacht. Es ist nicht immer nur mangelnder guter Wille und fehlendes Verständnis der Obrigkeit. Oft bestehen entgegengesetzte Standpunkte. Manchmal wird befürchtet, es könnte ein Präzedenzfall geschaffen werden; in kurzer Zeit würden sich auch die Nachbarn mit Begehren aller Art melden.

Die Baufreiheit, die einst im Rahmen der Gesetze garantiert war, wird somit immer mehr beschränkt, nur weil die Bewilligungspraxis bei Ausnutzungsziffern zum System des Reverses übergegangen ist.

Alle diese Mängel und Nachteile liessen sich durch **die Einführung eines Nutzrechtes** weitgehend vermeiden. Dieser neue Begriff stellt ein eigentliches Handelsobjekt dar, das verkauft und verpachtet werden könnte.

Mit dem Erlass einer Bauordnung würde nicht nur die Ausnutzungsziffer festgelegt, sondern jeder Parzelle ihr Nutzrecht zugeteilt: Bei 1,0 z. B. werden dem Eigentümer einer Parzelle von 1200 Quadratmeter Gesamtmass folglich auch 1200 Quadratmeter Nutzrecht angemerkt. Es steht dem Berechtigten nun frei, eine beliebige Anzahl Quadratmeter Nutzrecht von seinen näheren oder ferneren Nachbarn zuzukaufen oder an sie abzugeben. Benötigt er zum Bau eines Einfamilienhauses nur 350 m² Nutzfläche, verkauft er das Recht auf die restlichen 850 m² einem Nachbarn, welcher ein Renditenhaus bauen will, dafür aber zu wenig Land besitzt.

Eine allzu grosse Konzentration von Baumassen an besonders günstigen Geschäftslagen müsste dadurch verhindert werden, dass Grenzen festgelegt sind, über die hinaus der