

## Tragsicherheit von Betonspaltenelementen

### Regelmässige Zustandskontrolle erforderlich

Ludo Van Caenegem, Alfons Schmidlin und Robert Szulc, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Betonspaltenböden über Kanälen oder Güllegruben stellen ein gewisses Langzeitrisiko dar. Ein Blick von unten zeigt bei älteren Einzelbalken und Flächenrosten oft Betonabplatzungen und Risse. Risse entstehen nicht nur durch die ständige Einwirkung dynamischer Lasten, sondern können auch auf Beschädigungen beim Transport oder Verlegen zurückzuführen sein. Aggressive Güllelängase dringen durch diese Risse bis zum Armierungseisen vor und verursachen Korrosion. Der Rost zersetzt die Armierung und verringert langsam, aber sicher die Tragfähigkeit.

Beim plötzlichen Einsturz können Tiere und Menschen zu Schaden kommen.

Eine Zustandskontrolle in der Praxis ist arbeits- und zeitaufwändig. Da indirekte Kontrollmethoden wie die Messung der Durchbiegung bei geringer Belastung nur vor akut einsturzgefährdeten Elementen warnen können, kommt man um eine visuelle periodische Kontrolle aller Elemente nicht herum. Belastungsversuche an alten Betonrostelementen zeigen, dass diese durch plötzliches Ausreissen der Armierungsstäbe aus der

Betonumhüllung versagen können, bevor die Bruchspannung im Armierungsstab erreicht ist. Lange horizontale parallel zur Armierung verlaufende Risse deuten auf diese Gefahr hin.

Besondere Vorsicht ist bei «befahrbaren» Betonrostelementen über Güllegruben geboten. Nutzt man die Spaltenbodenfläche als Ladeplatz oder Durchfahrtsweg beim Ausbringen von Mist und Gülle oder zum Beschicken von Raufen, läuft man Gefahr, vor allem bei grossen Spannweiten die zulässige Nutzlast deutlich zu überschreiten.

Dieser Bericht kam in Zusammenarbeit mit der BUL und SAB zustande.



Abb. 1: Das plötzliche Versagen von alten Spaltenbodenelementen kann zu tödlichen Unfällen führen (Foto Roman Euler, SAB).

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Einwirkungen	2
Bemessungsgrundlagen von Betonspaltenböden	3
Zustandskontrolle alter Spaltenbodenelemente	5
Belastungsversuche	6
Schadensbild und Tragfähigkeit	9
Empfehlungen	9
Schlussfolgerungen	10

## Problemstellung

In vielen Ställen befinden sich Betonspaltelemente, die 15 oder mehr Jahre alt sind. Meistens entsprechen solche Elemente nicht dem heutigen Anforderungsprofil. Sie weisen oft eine ungenügende Betonüberdeckung der Armierung, zu dünne Armierungsstäbe oder eine zu geringe Elementhöhe auf. Im Verlaufe der Zeit sind vor allem wegen der Unterdimensionierung Risse und Betonabplatzungen entstanden. Unter ständiger Einwirkung von aggressiven Gasen aus der Gülle korrodieren die Armierungseisen, und folglich nimmt die Tragfähigkeit ab. Dies kann zum unerwarteten Einsturz mit fatalen Folgen führen.

Eine weitere Einsturzgefahr entsteht durch eine Überbelastung der Betonspaltelemente. Dies trifft vor allem bei neuen «befahrbaren» Flächenrosten in Laufhöfen, die über der Güllengrube angeordnet sind, zu. Bei Durchfahrten mit schweren Fahrzeugen kann speziell bei grösserer Spannweite die zulässige Belastung (Herstellerangaben) erheblich überschritten werden.

## Einwirkungen

Betonspaltenböden sind einem stärkeren Alterungsprozess als sonstige Betonteile unterworfen. Im Verlaufe der Zeit entstehen Risse und Betonabplatzungen, die auf verschiedene Einwirkungen zurückzuführen sind.

- **Mechanische Einwirkung.** Ist das Element zu schwach bemessen (zu geringe Höhe oder Armierungsquerschnitt), wird die Durchbiegung bei Belastung zu gross und es entstehen vertikale Risse.
- **Unsachgemässe Handhabung** beim Transport, Zwischenlagern oder Verlegen.
- **Ungenügende Betonüberdeckung** der Armierung. Ist die Überdeckung zu gering, reicht der Verbund zwischen Beton und Armierung nicht aus, um ein Gleiten der Armierungsstäbe zu verhindern. Das Gleiten der gerippten Armie-



Abb. 2: Deutliche horizontale Risse unten am Elementende als mögliche Vorboten für das Versagen des Verbundes zwischen dem Armierungseisen und der Betonumhüllung.

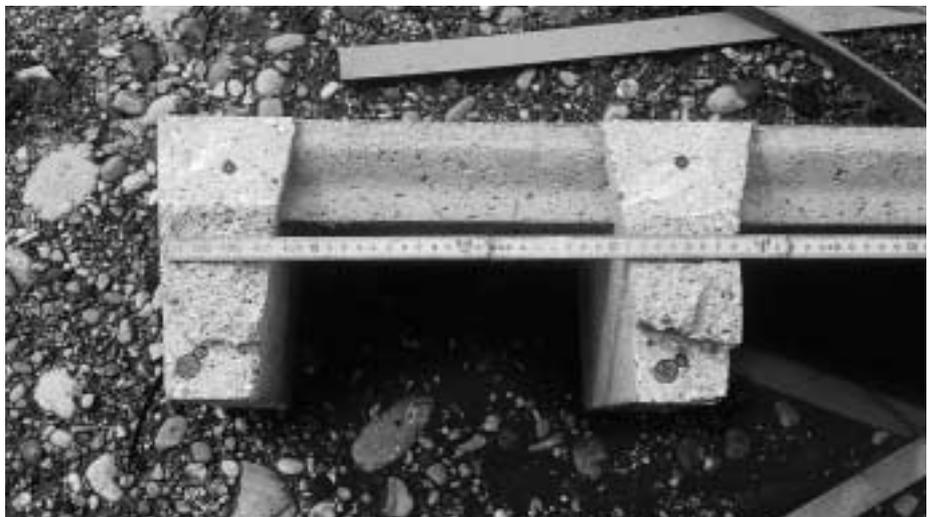


Abb. 3: Ungenügende Betonüberdeckung bei einem neuen Flächenrost.

rungsstäbe kann zur Sprengung der Betonumhüllung und zur Bildung von horizontalen Rissen führen (Abb. 2).

Die Betonüberdeckung soll ringsherum mindestens 20 mm betragen. Eine unzureichende Betonüberdeckung findet man nicht nur bei älteren, sondern leider zum Teil auch bei neuen Elementen gewisser Herkunft (Abb. 3).

- **Biochemische Einwirkung.** Betonspaltenböden befinden sich in einer extrem aggressiven Umgebung. Gase, die aus der Gülle entweichen, greifen ständig den Zementstein und das Zuschlagsmaterial an. Durch anaeroben Abbau von Gülle entsteht Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ). Der Schwefelwas-

serstoff kann sich im Kondensat unten am Spaltenelement auflösen, wenn er nicht durch eine ausreichende Lüftung entfernt wird. Im Kondensat sind Bakterien aktiv, die aus Schwefelwasserstoff Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) bilden. Die Schwefelsäure reagiert mit dem Tricalciumaluminat im Portlandzement und kann das Mineral Ettringit bilden. Diese Reaktion ist mit einer sehr starken Volumenausdehnung verbunden und führt zu oberflächlichen Betonabplatzungen. Bei ungenügender Betonüberdeckung dringen die Gase bis zur Armierung vor und greifen diese an. Der Querschnitt des Armierungseisens vergrössert sich durch Korrosion und sprengt weitere Betonteile ab.

Der Rost zersetzt die Armierung und verringert langsam, aber sicher die Tragfähigkeit des Betonspaltelements. Die Zeitdauer bis zur Erreichung des kritischen Punktes (unmittelbare Bruchgefahr) hängt in erster Linie vom Durchmesser des Armierungseisens ab. Je dicker das Eisen, desto länger dauert es, bis es durchgerostet ist.

Aus diesen Überlegungen folgt, dass Betonspaltelemente mit (mehreren) dünnen Armierungseisen (6–8 mm) mehr gefährdet sind als solche mit einem einzigen dicken Eisen (12–16 mm). Diese Aussage muss allerdings relativiert werden. Betonroste können nicht nur durch Bruch der Armierung, sondern auch durch das Ausreißen des Armierungseisens aus der Betonumhüllung versagen.

## Bemessungsgrundlagen von Betonspaltenböden

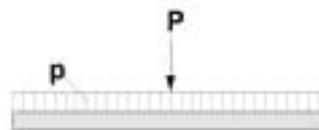
Die Tragfähigkeit von Einzelbalken und Flächenrosten hängt hauptsächlich von der Elementhöhe, Armierung, Betonqualität und Spannweite ab. Die Durchbiegung verhält sich umgekehrt proportional zur dritten Potenz der Elementhöhe. Das heisst, dass ein Element von 20 cm Höhe unter der gleichen Last etwa zwei Mal weniger durchbiegt als ein Element von 16 cm Höhe. Je geringer die Durchbiegung, desto kleiner die Gefahr der Rissbildung.

Einzelbalken werden heutzutage nicht mehr hergestellt. Sie wurden seit vielen Jahren durch Flächenroste von 0,4 bis 1,0 m Breite ersetzt. Solche Flächenroste mit Längs- oder Querschlitzen oder Löchern besitzen als Traggerippe zwei oder mehrere Längsbalken. Bis zu einer Spannweite von 3 m genügt eine Höhe von 16 cm, sofern der Flächenrost nur von den Tieren belastet wird. Für grössere Spannweiten sollen vorzugsweise Elemente mit einer Höhe von 20 cm gewählt werden.

Nach DIN-Norm 18 908 – eine SIA-Norm fehlt – müssen Betonspaltelemente je nach Tierkategorie und Gewicht definierte Strecken- und Einzellasten aushalten (Tab. 1).

Die Strecken- und Punktlast sind als Lastenkombination zu verstehen. Sind die Flächenroste breiter als 0,5 m, bzw. 0,65 m oder 0,8 m (je nach Tierkategorie, siehe Lastabstand in Tab. 1), können zwei Tiere hintereinander auf dem gleichen Element stehen. In diesem Fall bestehen

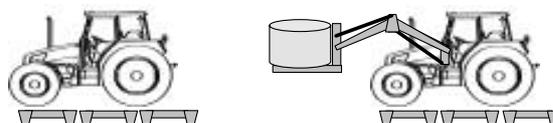
**Tab. 1: Verkehrslasten nach DIN-Norm 18 908, aufgeteilt nach Strecken- und Punktlast**



Tierkategorie	Tiergewicht kg	Streckenlast p kN/m	Punktlast Mitte P kN	Lastabstand m
Kälber	bis 250	2,3	1,25	0,5
Jungrinder	bis 450	3,6	2,25	0,65
Rinder	bis 720	4,5	3,6	0,8

1 kN <sup>a</sup> 100 kg

**Tab. 2: Richtwerte in kN für statische Radlasten bei Traktoren mit und ohne Last (Frontlader mit Silageballe)**



	Radlast hinten, Traktor ohne Last	Radlast vorne, Traktor mit Frontlader + Silageballe
Traktor 50 kW	8 – 12	14 – 20
Traktor 75 kW	12 – 16	18 – 25

**Tab. 3: Richtwerte in kN für Achslasten von Vakuumfässern aus Stahl für Gülle mit Einfach- oder Tandemachse. (Bei Tandemachse beträgt der Achsabstand der Räder 1,05 bis 1,25 m).**

Volumen Achse	4 m <sup>3</sup> Einzel	5 m <sup>3</sup> Einzel	6 m <sup>3</sup> Einzel	7 m <sup>3</sup> Einzel	8 m <sup>3</sup> Tandem	10 m <sup>3</sup> Tandem
Leergewicht	15	18	21	24	33	41
Nutzlast	40	50	60	70	80	100
Gesamtgewicht	55	68	81	94	113	141
Stützlast auf Traktor	8	9	10	12	14	18
<b>Achslast</b>	<b>47</b>	<b>59</b>	<b>71</b>	<b>82</b>	<b>99</b>	<b>123</b>

Pumpfässer mit Stahlbehälter sind in der Regel schwerer als Vakuumfässer, Pumpfässer mit Polysterntank dagegen einiges leichter (Angaben R. Frick, FAT).

**Tab. 4: Richtwerte in kN für Achslasten von Mist- und Kompoststreuer mit Einfachachse (Annahme: Streugut mit Raumgewicht von 7 kN/m<sup>3</sup>).**

Volumen	4 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	6 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>
Leergewicht	14	17	22	31	38	44
Nutzlast	28	35	42	56	70	84
Gesamtgewicht	42	52	62	87	108	128
Stützlast auf Traktor	7	9	10	12	14	17
<b>Achslast</b>	<b>35</b>	<b>43</b>	<b>52</b>	<b>75</b>	<b>94</b>	<b>111</b>

(Angaben R. Frick, FAT)

die Verkehrslasten pro Element aus der doppelten Strecken- und Punktlast. Die Durchbiegung darf  $\frac{1}{200}$  der Spannweite (höchstens 15 mm) nicht überschreiten. Für Betonspaltenböden, die befahren werden, fehlen Bemessungsgrundlagen. Die Radlasten (hinten) von üblichen Traktoren (50–75 kW) betragen etwa 8 bis 16 kN, insofern keine Lasten transportiert werden (Tab. 2). Wenn mit Front- oder Hecklader beispielsweise Silageballen (bis 1200 kg) in die Raufe des Laufhofs befördert werden, erhöht sich die Radlast bis auf 25 kN und damit ist die Gefahr gross, dass die Nutzlast überschritten wird.

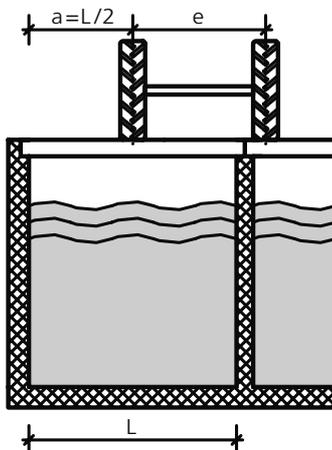
Zu diesen statischen Lasten kommen dynamische Lasten, die beim Fahren oder Anheben von Silageballen entstehen können. Diese dynamischen Lasten können ohne weiteres die statischen um 50 % überbieten. Eine Überbelastung muss nicht direkt zum Bruch führen, es können aber Schäden entstehen (Risse und Betonabplatzungen), welche die Armierung der Korrosion aussetzen und früher oder später zum Versagen führen. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die Spaltenbodenfläche als Ladeplatz oder Durchfahrtsweg beim Ausbringen von Mist und Gülle dient. In diesem Falle kann vor allem bei Spaltenbodenelementen über 3 m die zulässige Nutzlast weit überschritten werden (Tab. 3 und 4, Mittelwerte aus mehreren Fabrikaten). Weiter ist zu bedenken, dass die vom Hersteller angegebenen Nutzlasten sich auf intakte Elemente beziehen. Nach Beschädigung des Elements ist mit einer Herabsetzung der Nutzlast zu rechnen.

Bei der Interpretation der Herstellerangaben hinsichtlich maximal zulässiger Belastung ist Vorsicht geboten. Diese Angaben beziehen sich in der Regel auf eine Punktlast in der Mitte.

Nicht immer ist die Position, bei der sich ein Rad in der Mitte des Flächenrosts befindet, der ungünstigste Belastungsfall. Wenn die Spannweite (L) des Flächenrosts grösser als 1,71 mal Spurweite (e) des Fahrzeuges ist, ist die Belastung am höchsten, wenn beide Räder auf dem gleichen Flächenrost stehen und ein Rad sich in einem Abstand von  $0,5L - 0,25e$  zum Rand befindet (Abb. 4).

In diesem Fall ist nicht die Radlast, sondern die Achslast massgebend. Hersteller geben in der Regel die maximal zulässige Punktlast in der Mitte an. Aus dieser Punktlast lässt sich die zulässige Achslast

$L < 1,71e$



$L > 1,71e$

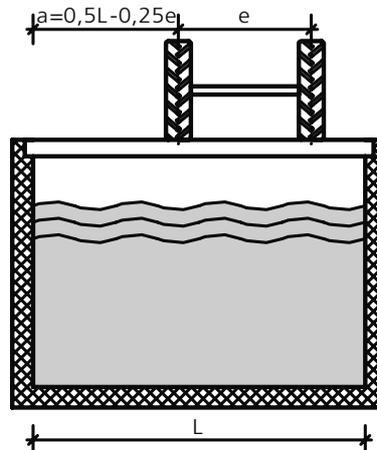


Abb. 4: Je nach Verhältnis der Spannweite (L) des Flächenrostelements zur Spurweite des Fahrzeuges (e) bildet die linke oder rechte Position des Fahrzeuges den ungünstigsten Belastungsfall.

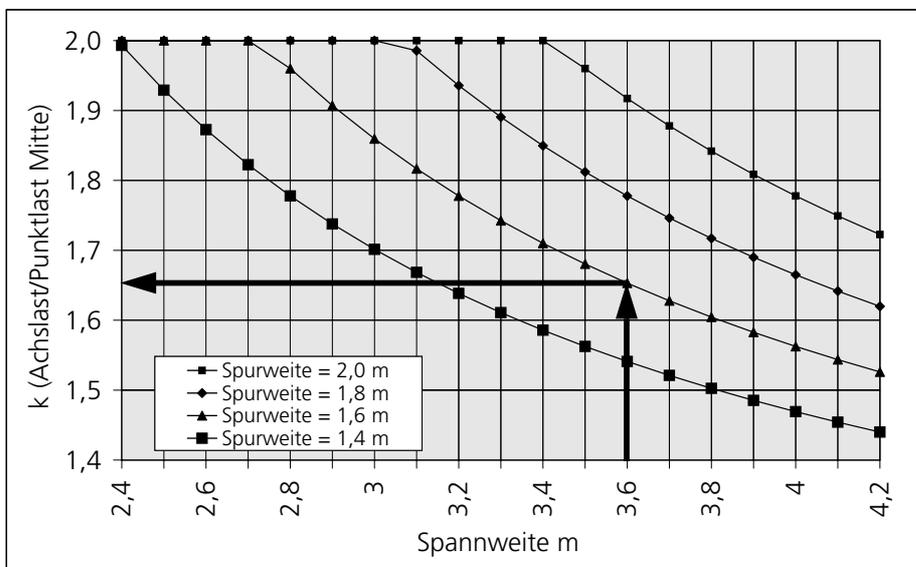


Abb. 5: Spannweite des Flächenrosts sowie Spurweite des Fahrzeuges bestimmen das Verhältnis (k) zwischen zulässiger Achslast und Punktlast in der Mitte.

des Fahrzeuges ermitteln. Für die beiden Belastungsfälle (Abb. 4) gilt:

$L < 1,7e$ :

Zulässige Achslast = 2 x Punktlast in der Mitte

$L > 1,7e$ :

Zulässige Achslast = k x Punktlast in der Mitte

$$k = \frac{L^2}{2 \cdot (0,5L^2 - 0,5eL + 0,125e^2)}$$

mit: L = Spannweite des Flächenrosts (m)

e = Spurweite des Fahrzeuges (m)

Berechnungsbeispiel der zulässigen Achslast eines Flächenrosts:

Zulässige Punktlast in der Mitte (Herstellerangaben): 25 kN (2500 kg)

Spannweite des Flächenrosts: 3,6 m

Spurweite des Fahrzeuges: 1,6 m

k = 1,65 (nach Formel, oder Abb. 5)

Achslast = 1,65 x 25 kN = 41,25 kN (4125 kg)

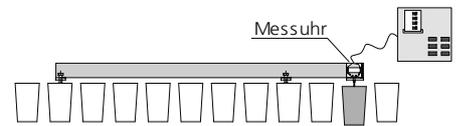
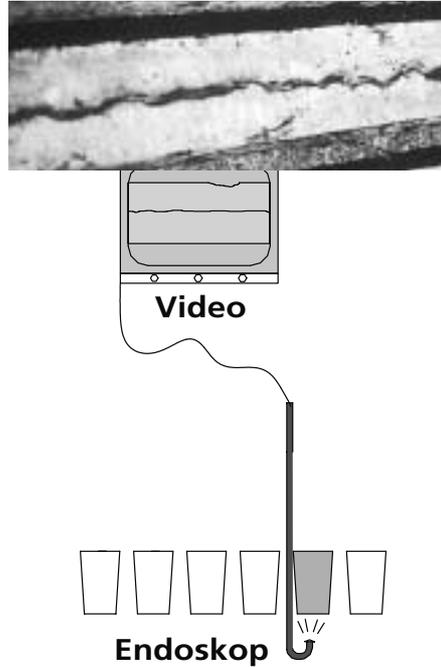


Abb. 6: Zustandskontrolle mit Endoskop. Das abwinkelbare Objektiv wird durch die Schlitze gesteckt und liefert eine Ansicht der Unterseite und Seitenflächen.

Abb. 7: Die Durchbiegung eines Spaltenelements unter dem Gewicht von einer oder zwei Personen (zirka 1,6 kN) lässt sich einfach mit einer elektronischen Messuhr (unten am Metallprofil befestigt) erfassen.

## Zustandskontrolle alter Spaltenbodenelemente

Die Zustandskontrolle der Spaltenbodenelemente ist in der Praxis nicht einfach. Risse oder Betonabplatzungen sind wegen der starken Verschmutzung schwer von oben erkennbar. Ohne technische Hilfsmittel ist eine Inspizierung der Unterseite nur durch das Hinabsteigen in die Grube (Kanal) oder das Entfernen der Elemente möglich. Das Hinabsteigen in die Grube ist mit Unfallgefahr (Gase) verbunden. Beim Entfernen riskiert man, die Elemente zu beschädigen.

Mit Hilfe eines Endoskops kann man dieses Problem umgehen (Abb. 6).

Das abwinkelbare Objektiv, über Bildleitfasern mit einer Kamera verbunden, erlaubt eine Ansicht der Unterseite und Seitenflächen. Vorgängig müssen diese Flächen mit Hilfe eines Hochdruckreinigers mit spezieller Düse gereinigt werden. Dank der guten Bildqualität kann man Schadenstellen leicht erkennen. Die Bilder können, wenn gewünscht, gespeichert werden. Die Zustandskontrolle mit Endoskop ist jedoch vor allem wegen der Reinigung mit grossem Zeitaufwand von zirka 15 Min. pro Flächenelement verbunden. Aus diesem Grunde wurde nach einer schnelleren Methode gesucht.

Würde zwischen der Durchbiegung unter relativ geringer Last einerseits und der

Tragfähigkeit des Betonspaltelements eine eindeutige Beziehung bestehen, wäre eine einfache Zustandskontrolle ohne aufwändige Reinigung der Unterseite möglich. Es genügte jedes Element in der Mitte mit dem Gewicht von einer oder zwei Personen (zirka 1,5 kN) zu belasten und gleichzeitig mit einer elektronischen Messuhr (Genauigkeit 1/100 mm) die Durchbiegung zu messen (Abb. 7).

Zur Überprüfung dieser Methode wurde kurz vor der Auswechslung in einem Milchviehstall die Durchbiegung aller (97) alten Flächenroste gemessen. Grund für das Auswechseln der Flächenroste war das Versagen eines Elements im Fressbereich. Die untersuchten Flächenroste haben eine Breite von 0,5 m. Die Länge beträgt 2,4 m bzw. 3 m. Zwei Seitenbalken von 14 cm und ein Balken in der Mitte von 7 cm Höhe bilden das Traggerippe. Dazwischen befinden sich wellenförmige Längsschlitzte von 35 mm, durch Querstreben unterbrochen. Die Hauptarmierung (unten) besteht aus einem Armierungseisen von 12 mm in jedem Seitenbalken.

Aus den 97 Flächenrosten wurden nach dem Auswechseln 21 Elemente (sechs von 2,40 m sowie 15 von 3 m) selektiert und auf einer speziell hierzu eingerichteten Anlage an der FAT (Abb. 8) bis zum Versagen belastet.



Abb. 8: Versuchsanlage für die Belastungsversuche an Betonflächenelementen.

## Belastungsversuche

### Beschreibung der Methode

Die Anlage besteht aus einer Hydraulikpresse und einer Zugkraftmessdose (Genauigkeit 10 N), mit der sich die Punktlast in der Mitte ermitteln lässt. Der Belastungsversuch erfolgte in Schritten von 2 kN (200 kg) pro Minute bis zur maximalen Belastung (Grenzwert).

Eine elektronische Messuhr (Genauigkeit  $\frac{1}{100}$  mm) zeigte die Durchbiegung an. Vor jedem Bruchversuch wurde das Schadensbild des Flächenrostes aufgezeichnet, um eine Beziehung zwischen Schadensbild einerseits und Durchbiegung (unter Lasteinwirkung) sowie Bruchlast andererseits zu ermitteln.

### Flächenroste von 2,40 m (Laufgangbereich)

Die Messungen im Stall (Punktlast in der Mitte = 1,6 kN = Gewicht von zwei Personen) ergaben für die 54 Flächenroste von 2,4 m Durchbiegungswerte zwischen 0,15 und 0,36 mm (Abb. 9). Beim Auswechseln stellte man bei den meisten Elementen Beschädigungen fest. Häufigste Mängel waren leichte Betonabplatzungen mit streckenweise sichtbarer Armierung, horizontale Risse in der Mitte oder im Kopfbereich sowie einzelne vertikale Risse in der Mitte.

Der Belastungsversuch auf der Versuchsanlage ergab für die sechs am meisten beschädigten Elemente eine maximale Punktlast (in der Mitte) zwischen 24 kN (Element 19) und 33 kN (Element 20, Tab. 5). Nach Überschreiten der Grenzbelastung nahm die Tragfähigkeit sprunghaft ab. Wegen der Oberarmierung brach jedoch kein einziges Element vollständig durch. Fünf der sechs Elemente versagten durch Zerstörung des Verbundes zwischen Armierungseisen und Betonumhüllung.

In einzelnen Fällen wurde das Armierungseisen vollständig aus der Betonumhüllung gerissen (Elemente 18 und 19, Abb. 10). Das relativ frühzeitige Versagen des Elements 19 war voraussehbar, da das Armierungseisen teilweise schon vor dem Versuch im Kopfbereich sichtbar war.

Nur in einem einzigen Fall (Element 17) brach ein Armierungseisen (im linken Balken, während im rechten Balken das Eisen ausgerissen wurde). Dieses Eisen war stark korrodiert. An der Bruchstelle

Tab. 5: Ergebnisse des Belastungsversuchs an sechs alten Flächenrostelementen von 2,4 m Länge und 14 cm Höhe

Element	Durchbiegung mm infolge einer Punktlast von:				Bruchlast kN
	2 kN	6 kN	10 kN	14 kN	
19	0,34	1,19	2,44	5,86	24
21	0,35	1,24	2,32	4,19	30
18	0,32	1,09	2,23	3,71	30
17	0,29	1,04	2,20	3,64	30
1	0,29	1,12	2,21	3,69	32
20	0,31	1,14	2,37	3,73	33

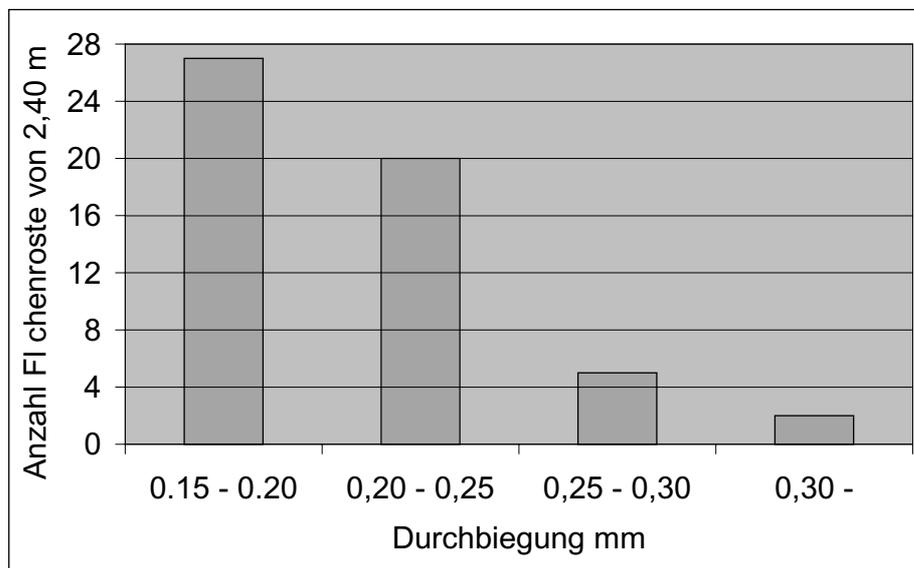


Abb. 9: Bei 47 der 54 Betonroste von 2,4 m Länge lag die Durchbiegung unter einer Last von 1,6 kN zwischen 0,15 und 0,25 mm.



Abb. 10: Untenansicht der Elemente 18 (links) und 19 (rechts) nach dem Belastungsversuch. Bei beiden Elementen ist im linken Balken der Armierungsstab ausgerissen.

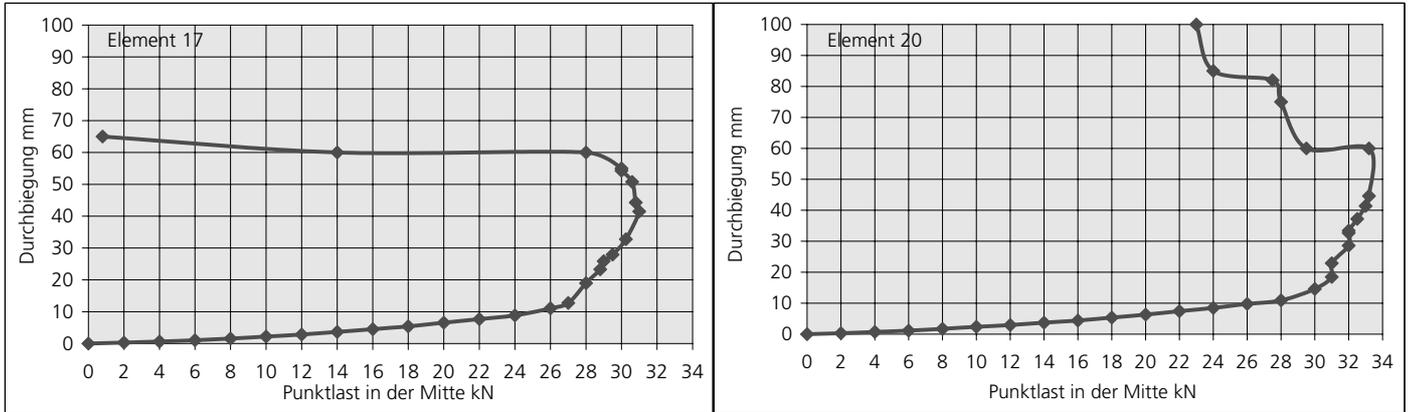


Abb. 11: Ergebnisse des Belastungsversuches bei den Elementen 17 und 20.

betrug der Durchmesser nur noch etwa 8 mm. Der wirksame Querschnitt war auf 44 % verringert. Bei allen anderen Elementen stellte man lediglich eine oberflächliche Korrosion der Armierung fest. Dass Element 17 trotz fortgeschrittener Korrosion der Armierung eine so hohe Belastung aushielt (30 kN), ist erstaunlich. Die hohe Tragfähigkeit kann nur durch eine sehr grosse Biegezugfestigkeit des Betons erklärt werden. Die Biegezugfestigkeit des Betons selber wird in der Regel bei der Dimensionierung von Betonteilen nicht berücksichtigt. Man nimmt bei der Berechnung an, dass die Zugkräfte ausschliesslich von der Armierung aufgenommen werden.

Ein Vergleich zwischen den Elementen 17 und 20 zeigt, dass Element 17 zwar eine fast eben so hohe Bruchlast wie Element 20 aufweist, bei einer Durchbiegung von 60 mm jedoch praktisch keine Last mehr aufnehmen kann, während Element 20 nach Überschreiten der Grenzlaster bei (60 mm Durchbiegung) noch eine Belastung von 23 kN aushält (Abb. 11).

Die Durchbiegung zeigt anfänglich für alle Flächenrostelemente den gleichen Verlauf. Für eine Belastung von 2 kN beträgt sie 0,34 mm bei Element 19 gegenüber 0,31 mm bei Element 20. Der sehr geringe Unterschied steht nicht im Verhältnis zur Differenz in Bruchlast (24 kN für Element 19 gegenüber 33 kN für Element 20). Die vorgängige Messung der Durchbiegung im Stall ergab ebenfalls für Element 19 einen leicht höheren Wert (0,36 mm). Allerdings ist die Bedeutung solcher kleiner Unterschiede angesichts der erreichbaren Genauigkeit bei Messungen unter Praxisbedingungen zu relativieren. Durch Ungenauigkeiten wegen unebenen Auflagern (Hin- und Herkippen des Elements) können leicht Messfehler in dieser Grössenordnung entstehen.

Deutliche Abweichungen in der Durchbiegung zwischen den einzelnen Elementen traten im Belastungsversuch an der FAT erst ab einer Punktlast von 12 kN (1,2 T) auf. Eine solche Last eignet sich nicht für eine schnelle und handliche Zustandskontrolle im Stall. Ausserdem läuft man Gefahr, mit einer Punktlast über der normalen Tierlast die Lebensdauer geschwächter Elemente zu verkürzen (zusätzliche Rissbildung).

Da die Grenzlaster bei allen Flächenrosten von 2,4 m mindestens 24 kN betrug, muss man davon ausgehen, dass die Elemente trotz deutlicher Beschädigung zum Zeitpunkt der Auswechslung noch gebrauchstauglich waren. Bei Element 17 hätte man allerdings damit rechnen müssen, dass in wenigen Jahren das Armierungseisen im linken Balken gebrochen wäre.

### Flächenroste von 3 m (Fressbereich)

Die Messungen im Stall (Punktlast in der Mitte = 1,6 kN = Gewicht von zwei Personen) ergaben für die 43 Flächenroste von 3 m Länge Durchbiegungswerte zwischen 0,31 und 0,70 mm (Abb. 12). Beim Auswechslern traten ernsthaftere Beschädigungen als bei den kürzeren Elementen zutage. Bei einzelnen Flächenrosten lag das Armierungseisen über längeren Strecken (bis 0,5 m) völlig frei. Eine tiefe Korrosion der Eisenstäbe liess sich andererseits nicht feststellen.

Ähnlich wie bei den Elementen von 2,4 m wurden anschliessend 15 Elemente aufgrund des Beschädigungsbild selektiert und auf der Versuchsanlage der FAT bis zum Grenzwert belastet.

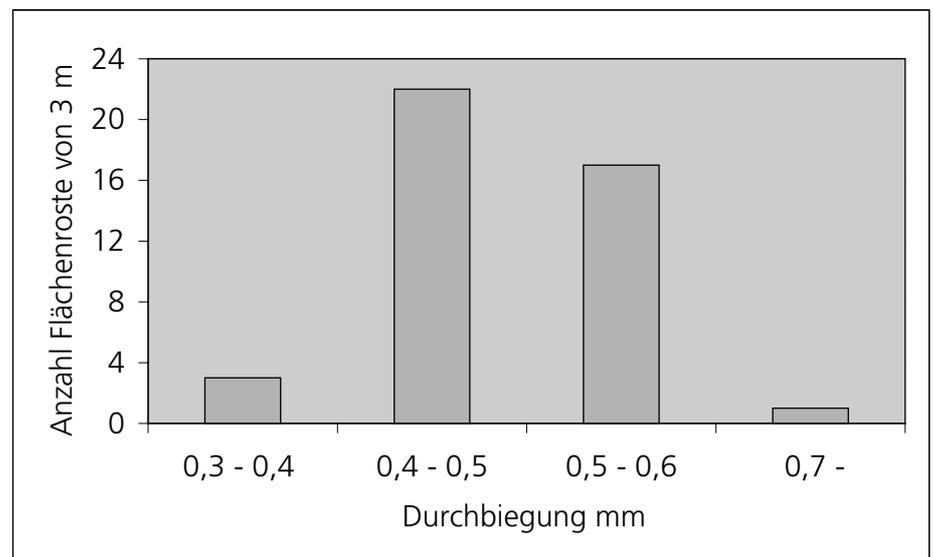


Abb. 12: Bei 39 der 43 Betonroste von 3 m Länge liegt der Durchbiegungswert unter einer Last von 1,6 kN zwischen 0,4 und 0,6 mm.

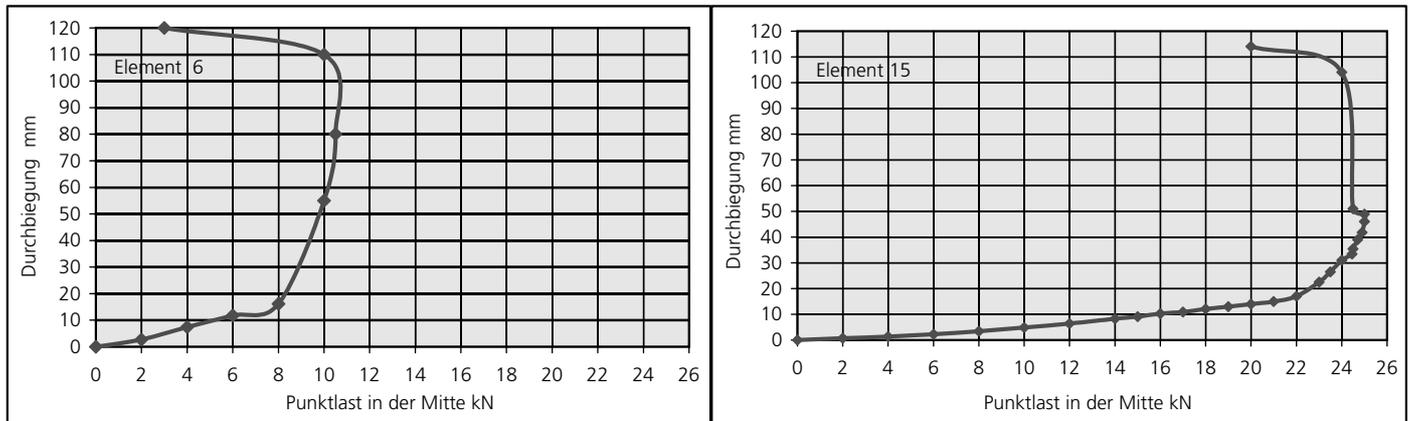


Abb. 13: Ergebnisse des Belastungsversuchs bei den Elementen 6 und 15.

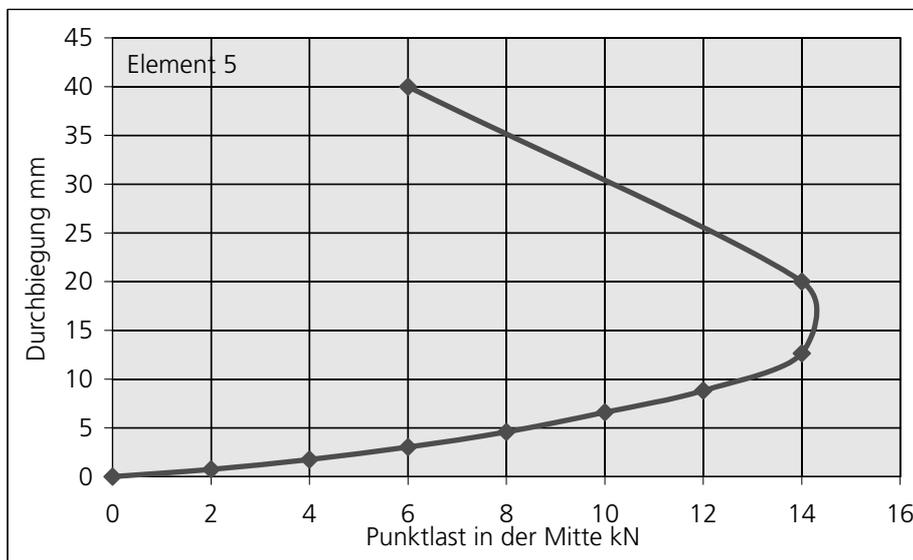


Abb. 14: Ergebnisse des Belastungsversuchs bei Element 5.

**Tab. 6: Ergebnisse des Belastungsversuchs an acht alten Flächenrostelementen von 3 m Länge und 14 cm Höhe**

Element	Durchbiegung mm infolge einer Punktlast von:				Bruchlast kN
	2 kN	6 kN	10 kN	14 kN	
6	2,70	11,82	55,10	–	10
5	0,75	3,04	6,60	12,64	14
10	0,77	2,89	6,36	10,5	18
14	1,11	3,87	7,23	11,36	22
12	0,78	2,94	5,89	10,03	22
9	0,75	2,72	5,72	9,65	24
4	0,73	2,68	5,62	9,23	24
15	0,68	2,29	4,90	8,3	25

Eine Gegenüberstellung (Tab. 6) von acht dieser 15 Flächenroste zeigt, dass die maximale Punktlast in der Mitte viel stärker als bei den kürzeren Elementen variiert (Element 6: 10 kN, Element 15: 25 kN). Der vollständige Bruch des Elements 6 bei etwa 10 kN war angesichts der massiven Beschädigung des Elements vor dem Bruchversuch zu erwarten. In beiden Balken war auf einer Seite das Armierungseisen im Kopfbereich sichtbar. Element 6 hätte bei Weiterverwendung unter Tierlast versagen können (Abb. 13). Auch Element 5 (Bruchlast 14 kN) muss als nicht gebrauchstauglich betrachtet werden (Abb. 14).

Der Verlauf der Durchbiegungswerte ist am Anfang des Belastungsversuchs (bis zu einer Punktlast von 12 kN) für alle Flächenroste ausser Element 6 und Element 14 gleich (Tab. 6). Aufgrund des Durchbiegungswerts bei 2 kN lässt sich Element 6 eindeutig als einsturzgefährdet erkennen. Die dreimal höhere Durchbiegung während des Bruchversuchs (2,7 mm bei 2 kN) im Vergleich zur vorgängigen Messung im Stall (0,7 bei 1,6 kN) ist wahrscheinlich auf eine Beschädigung beim Ausbau des Elements zurückzuführen. Die geringere Bruchlast (14 kN) bei Element 5 lässt sich dagegen nicht aus der gemessenen Durchbiegung im Stall voraussagen. Der Bruch fand plötzlich und ohne Vorzeichen bei einer Durchbiegung von lediglich 20 mm statt. Dies war auf das plötzliche Ausreißen der Armierung in beiden Balken zurückzuführen (Abb. 15).

**Tab. 7: Einteilung der getesteten Flächenroste von 3 m, nach Schadensbild und Tragfähigkeit**

Schadensbild vor dem Versuch	Schadensbild nach dem Versuch	Bruchlast kN	Tragfähigkeit nach Überschreiten der Bruchlast kN
Kleinere Betonabplatzungen, keine längere horizontale Risse im Kopfbereich	Betonabplatzungen im mittleren Bereich. Einzelne vertikale Risse	23–25	20
Lange horizontale Risse in einem Balken (Kopfbereich)	Armierung in einem Balken ausgerissen	22–24	10–14
Lange horizontale Risse in beiden Balken (Kopfbereich)	Armierung in beiden Balken ausgerissen	10–14	3–6



Abb. 15: Bei den Flächenrosten 5 (links) und 6 wurde der Armierungsstab in beiden Balken ausgerissen.

Es stellt sich dabei die Frage, ob man eine Tragfähigkeit von 14 kN noch als sicher betrachten kann. Gemäss DIN-Norm 18908 (Tab. 1) müssen Flächenelemente für Milchkühe gleichzeitig eine Streckenlast von 4,5 kN/m und eine Punktlast von 3,6 kN in der Mitte aushalten. Diese Lastenkombination entspricht einer einzigen Punktlast von 10,4 kN in der Mitte. Die Bruchlast von 14 kN übersteigt zwar die Punktlast, der Sicherheitsfaktor von 1,35 (14/10,4) ist jedoch ungenügend. Bei Element 14 lag schon vor dem Bruchversuch die Armierung in der Mitte beider Balken über eine Länge von etwa 60 cm frei. Dies erklärt den höheren Durchbiegungswert bei geringer Belastung.

### Schadensbild und Tragfähigkeit

Aufgrund der Schadensbilder vor und nach dem Versuch lassen sich die Flächenroste von 3 m Länge in drei Kategorien unterteilen (Tab. 7).

Der Belastungsversuch hat eindeutig gezeigt, dass lokale Betonabplatzungen in der Mitte weniger gefährlich als horizontale parallel zur Armierung verlaufende Risse im Kopfbereich sind (Abb. 2).

### Empfehlungen

#### Alte Betonspaltenböden

- Den Sicherheitsfaktor (Verhältnis Tragfähigkeit des Elements im Neuzustand zur effektiven Belastung) der Spaltenbodenelemente vom Hersteller oder von einer Fachperson abklären lassen. Die Tragfähigkeit im Neuzustand lässt sich aus Querschnitt, Spannweite und Armierung von einer Fachperson berechnen. Je kleiner der Sicherheitsfaktor, desto früher und häufiger soll eine Kontrolle erfolgen.
- Die möglichen Folgen eines Einsturzes abschätzen. Bei Betonspaltenelementen über Güllengruben sind spätestens nach zehn Jahren alle Elemente ringsherum zu reinigen und unter Einbezug einer Fachperson visuell zu kontrollieren. Beschädigte Elemente (Sichtbare Armierung, horizontale Risse im Kopfbereich) sind sofort zu ersetzen oder bis zum Zeitpunkt des Auswechslens abzustützen.

- Einzelbalken sowie Flächenelemente mit geringer Höhe sind häufiger zu kontrollieren. Das gleich gilt, wenn die Armierung aus dünnen Eisen besteht.

## Neue Betonspaltenböden

- Den Typ des Flächenrostelements unter Berücksichtigung der möglichen Lastenwirkungen mit dem Hersteller absprechen.
- Flächenrostelemente nach dem Transport auf Beschädigungen (Risse, Betonabplatzungen) und – sofern möglich – auf ausreichende Überdeckung der Armierung kontrollieren.
- Flächenrostelemente sachgerecht auf ebenem und festem Boden zwischenlagern. Die Zwischenhölzer müssen genau übereinander liegen.
- Schäden beim Verlegen durch den Einsatz angepasster Hilfsmittel vermeiden.
- Grundsätzlich durch planerische Massnahmen verhindern, dass Betonspaltelemente als Verkehrsflächen genutzt werden. Wenn ein Befahren möglich ist, soll man eine gut sichtbare Warntafel mit der maximal zulässigen Achslast anbringen.

## Schlussfolgerungen

Betonspaltenböden sind im Vergleich zu sonstigen Betonbauteilen wegen der extrem aggressiven Umgebung einem stärkeren Alterungsprozess unterworfen. Die Lebensdauer der Einzelbalken oder Flächenroste hängt von vielen Faktoren ab. Langlebigkeit bedingt in erster Linie eine ausreichende Betonqualität, Armierung und Betonüberdeckung der Armierung. Flächenelemente mit zwei oder drei Längsbalken bieten eine höhere Sicherheit als Einzelbalken. Nur in seltenen Fällen versagen beide Balken gleichzeitig. Je höher die Elemente, desto weniger biegen sie durch und desto weniger Risse entstehen durch Belastung. Risse werden jedoch nicht nur durch mechanische Belastung ausgelöst, sondern können auch durch unsachgemässe Handhabung schon beim Transport und Verlegen verursacht werden.

Durch Risse oder Betonabplatzungen kann die Armierung angegriffen werden. Je dünner der Armierungsstab, desto schneller rostet er durch. Bruchversuche zeigen andererseits, dass dickere Stäbe ( $\geq 12$  mm) in der Regel nicht brechen, sondern bei hoher Belastung gleiten, die

Betonummantelung sprengen und schliesslich ausgerissen werden. Dieses Problem könnte bei neuen Elementen durch eine bessere Verankerung im Kopfbereich behoben werden.

Bei der Zustandskontrolle soll man diese Erkenntnisse berücksichtigen. Besteht die Armierung aus dünneren Stäben (6,8 mm), ist die Gefahr am grössten, dass das Element durch Armierungsbruch versagt. Solche Elemente soll man vor allem in der Mitte, wo die Zugspannung am höchsten ist, kontrollieren. Bei Elementen mit dicken Armierungsstäben (10–16 mm) ist insbesondere der Kopfbereich auf Längsrisse zu untersuchen. Sind lange parallel zur Armierung verlaufende Risse vorhanden, ist der Verbund zwischen Beton und Armierung beeinträchtigt und man muss mit dem Ausreißen des Armierungseisens rechnen.

Aus den Belastungsversuchen geht hervor, dass die Durchbiegung bei geringer Belastung (Gewicht von einer oder zwei Personen) nur beschränkt über das Schadensbild und die verbleibende Tragfähigkeit des Elements zuverlässige Aussagen machen kann. Nur bei akut einsturzgefährdeten Elementen ist eine erhöhte Durchbiegung festzustellen. Bei Kontrollen in längeren Zeitabständen ist deshalb die Methode der Durchbiegungsmessung unter geringer Belastung als Frühwarnungsinstrument nicht geeignet. Bis auf weiteres bleibt einzig die visuelle Kontrolle durch einen Fachmann die wirksamste Prävention gegen Einstürze. Mit Hilfe eines Endoskops lässt sich eine visuelle Zustandskontrolle durchführen, ohne dass man in die Grube oder den Kanal hinabsteigen muss. Allerdings sind solche Untersuchungen zeitaufwändig und daher eher nur für eine stichprobenartige Kontrolle geeignet. Für eine umfassende Kontrolle ist ein Hinabsteigen in die Grube oder Kanal unvermeidlich. Hierbei sind unbedingt alle Sicherheitsvorkehrungen gemäss BUL-Vorschriften «Gasgefahren in der Landwirtschaft» einzuhalten. Frischluftgeräte können bei den meisten Landwirtschaftlichen Schulen ausgeliehen werden.

Neben der Einsturzgefahr durch Alterung bei älteren Betonspaltenböden soll man ebenfalls dem Einsturzrisiko von «befahrenen» Flächenrostelementen über Güllengruben die nötige Beachtung schenken. Die vom Hersteller angegebenen zulässigen Lasten dürfen keinesfalls überschritten werden. Dabei ist stets vom ungünstigsten Belastungsfall auszugehen. Das Befahren der Flächenrostelemente soll man nicht nur aus Sicherheits-

gründen, sondern auch wegen der Beschädigungsgefahr der Oberfläche grundsätzlich unterlassen.



Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden. (Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90).

E-Mail: [info@fat.admin.ch](mailto:info@fat.admin.ch), Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

- ZH** Kramer Eugen, LIB Strickhof,  
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 60  
Blum Walter, LIB Strickhof,  
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 60
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,  
3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45  
Hügi Kurt, Inforama Seeland,  
3232 Ins, Telefon 032 312 91 11  
Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,  
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10  
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand,  
3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
- LU** Moser Anton, LBBZ Schüpfheim,  
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00  
Hodel René, LBBZ, Centralstr. 21,  
6210 Sursee, Telefon 041 925 74 74  
Marti Pius, LBBZ Schüpfheim,  
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00  
Widmer Norbert, LMS,  
6276 Hohenrain, Telefon 041 910 26 02
- UR** Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44,  
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon,  
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Müller Erwin, BWZ Obwalden,  
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16  
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,  
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Wolf Franz, Landwirtschaftsamt, Kreuzstr. 2,  
6371 Stans, Telefon 041 618 40 07
- GL** Amt für Landwirtschaft, Poststr. 29,  
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Gut Willy, LBBZ Schluethof,  
6330 Cham, Telefon 041 780 46 46  
Furrer Jules, LBBZ Schluethof,  
6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
- FR** Krebs Hans, Landw. Institut Freiburg (IAG),  
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,  
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,  
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
- SH** Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,  
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Koller Lorenz, Gaiserstrasse 8,  
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,  
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Haltiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof,  
9465 Salez, Telefon 081 757 18 88  
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,  
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Urwyler Hansueli, Grabenstrasse 1,  
7000 Chur, Telefon 081 257 24 03  
Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,  
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, LBBZ Liebegg,  
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
- TG** Herrmann Samuel, LBBZ Arenenberg, Fachstelle  
Betriebsberatung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,  
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 22
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,  
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: [info@fat.admin.ch](mailto:info@fat.admin.ch) – Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat> – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.