

*Landbauforschung
vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 317
Special Issue

**Vermeidung von Boden- und
Grundwasserbelastungen beim
Bau von Güllelagern**

*Prevention of soil and groundwater
contamination from animal waste
storage facilities*

Jan-Gerd Krentler

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 317
Special Issue

**Vermeidung von Boden- und
Grundwasserbelastungen beim
Bau von Güllelagern**

*Prevention of soil and groundwater
contamination from animal waste
storage facilities*

Jan-Gerd Krentler

Inhaltsverzeichnis/Contents

| | Seite/Page |
|---|------------|
| 1 Vorwort und Ziel der Arbeit <i>Preface and aim of the work</i> | 1 |
| 2 Literatur <i>Literature review</i> | 2 |
| 2.1 Gesetze, Güllelager- und -transport betreffend <i>Regulations dealing with slurry storage and transportation</i> | 2 |
| 2.1.1 Deutsche Gesetze <i>German regulations</i> | 2 |
| 2.1.2 Polnische Gesetze <i>Polish regulations</i> | 4 |
| 2.1.3 Gülletransport <i>Slurry transportation</i> | 4 |
| 2.2 Einfluss von Gülle auf die Umwelt <i>Environmental impact of slurry</i> | 5 |
| 2.2.1 Chemische Eigenschaften von Gülle im Boden <i>Chemical quality of slurry in the soil</i> | 7 |
| 2.2.2 Umweltfreundliche Methoden der Gülleausbringung <i>Environmentally friendly methods for the application of slurry</i> | 8 |
| 2.2.3 Spezielle Forschung über Schweinegülle <i>Special research on slurry from pigs</i> | 9 |
| 2.2.4 Spezielle Forschung über Gülle von Rindern und Schweinen <i>Special research on slurry from cattle and cows</i> | 10 |
| 2.2.5 Andere Ansätze zum "Gülleproblem" <i>Other approaches to the "slurry problem"</i> | 11 |
| 2.3 Beispielhafte Tierhaltung mit Blick auf die Gülle-/Mist-Systeme <i>Exemplary animal housing with regard to slurry/dung-systems</i> | 11 |
| 2.3.1 Mastschweinehaltung <i>Animal housing for fattening pigs</i> | 13 |
| 2.3.2 Sauenhaltung <i>Animal housing for sows</i> | 17 |
| 2.3.3 Haltung von Milchkühen und Kälbern <i>Animal housing for milking cows and calves</i> | 19 |
| 2.3.4 Haltung von Mastbullen <i>Animal housing for fattening bulls</i> | 25 |
| 2.3.5 Haltung von Hühnern und Küken <i>Animal housing for hens and chickens</i> | 27 |
| 2.4 Bauen für die Landwirtschaft mit Beton <i>Construction for agriculture with concrete</i> | 29 |
| 2.4.1 Bauen von Silos für Siliergut und Festmist <i>Construction of silos for ensilage and dung</i> | 30 |
| 2.4.2 Bauen von Güllekanälen und Betonbehältern <i>Construction of slurry channels and containers made of concrete</i> | 30 |
| 2.5 Emissionen aus Gülle und deren Begrenzung <i>Emissions from slurry and its limitation</i> | 32 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.5.1 | Allgemeines zum Bau von Güllebehältern mit Bezug auf ihre Abdeckung <i>General information on the construction of slurry storage containers with reference to covers</i> | 37 |
| 2.5.2 | Baumaterialien für Güllelager <i>The construction materials for slurry storage</i> | 37 |
| 2.5.3 | Abdeckungen für Güllebehälter <i>Covering of slurry tanks</i> | 38 |
| 2.5.3.1 | Schwimmende Abdeckungen <i>Floating covers</i> | 38 |
| 2.5.3.2 | Feste Abdeckungen <i>Permanent covers</i> | 41 |
| 2.5.4 | Kosten von Abdeckungen <i>Cost of covering</i> | 44 |
| 2.5.5 | Wirksamkeit der Maßnahmen <i>Effectiveness of the measures</i> | 45 |
| 2.5.6 | Ausblick und Emissionen <i>Perspective and emissions</i> | 45 |
| 2.6 | Reparatur von Flüssigmistbehältern <i>Reconstruction of liquid manure reservoirs</i> | 45 |
| 2.6.1 | Reparatur von Fahrsilos <i>Repairing horizontal silos</i> | 46 |
| 2.6.2 | Schutz und Wiederherstellung von Flüssigmistbehältern <i>Protection and restoration of liquid manure containers</i> | 47 |
| 2.7 | Schlussfolgerungen aus der Literatur <i>Conclusions from literature review</i> | 48 |
| 3 | Material und Methodik <i>Methodology</i> | 49 |
| 3.1 | Allgemeines <i>General</i> | 49 |
| 3.2 | Problemstellung <i>Problem</i> | 49 |
| 3.3 | Material und Methoden <i>Materials and methods</i> | 49 |
| 3.3.1 | Experimente zur "Dichtheit" von Güllebehältern aus Beton <i>Experiments on the "tightness" of concrete slurry containers</i> | 50 |
| 3.3.2 | Zur Dynamik des Eindringens <i>On the dynamics of penetration</i> | 52 |
| 3.3.2.1 | Beschreibung der Versuche <i>Description of tests</i> | 52 |
| 3.3.2.2 | Betongüte <i>Concrete quality</i> | 54 |
| 3.3.2.3 | Versuchsflüssigkeiten <i>Test effluents</i> | 55 |
| 3.3.3 | Messung des Stickstoffgehalts im Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken, das durch Betonbehälter ersetzt wurde <i>Measurements of nitrogen content in the soil under a plastic lined slurry lagoon, replaced by concrete slurry containers</i> | 55 |

| | |
|--|-----------|
| 4 Ergebnisse | 58 |
| Results | |
| 4.1 Versuche über die "Dichtheit" von Güllebehältern aus Beton | 58 |
| <i>Experiments on the "tightness" of concrete slurry containers</i> | |
| 4.1.1 Versuche über 72 Stunden bei 0,5 N mm ⁻² Druck | 58 |
| <i>Experiments with periods of 72 hours and 0.5 N mm⁻² pressure</i> | |
| 4.1.2 Versuche über 14, 28 und 35 Tage bei 0,05 N mm ⁻² Druck | 72 |
| <i>Experiments with 14, 28 and 35 days periods and 0.05 N mm⁻² pressure</i> | |
| 4.2 Messung des Stickstoffgehalts im Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken | 82 |
| <i>Measurements of nitrogen content in the soil under a plastic lined lagoon</i> | |
| 5 Diskussion der Ergebnisse | 83 |
| Discussion | |
| 5.1 Versuche zur "Dichtheit" | 83 |
| <i>Tests concerning the "tightness"</i> | |
| 5.1.1 Versuche nach DIN 1045 | 84 |
| <i>Tests in accordance to DIN 1045</i> | |
| 5.1.2 Langzeitversuche über das Eindringverhalten | 85 |
| <i>Long term tests on the dynamics of penetration</i> | |
| 5.2 Diskussion des Stickstoffgehalts im Boden | 86 |
| <i>Discussion of nitrogen content in the soil</i> | |
| 5.3 Diskussion der Emissionen | 87 |
| <i>Discussion of emissions</i> | |
| 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 88 |
| Conclusions and recommendations | |
| 7 Zusammenfassung | 89 |
| Summary | |
| 8 Literaturverzeichnis | 90 |
| References | |
| 8.1 Gesetze und Verordnungen | 90 |
| <i>Laws and regulations</i> | |
| 8.2 Andere Literaturquellen | 91 |
| <i>Other references</i> | |
| 9 Anhang | 99 |
| Annex | |

Abbildungsliste/List of figures

- Abb. 1:** Verschiedene Bodenplatten für Betonbehälter
Different wall bases for slurry containers of concrete
- Abb. 2:** Querschnitt eines Kontrolldrainagesystems (Krentler, 2002)
Sketch of a system for drainage control (Krentler, 2002)
- Abb. 3:** Kammstall für Schweine mit abgeschlossenen Abteilen und Zentralgang (Marten, 1995)
Pig sty "coam type" with separate compartments and main alley (Marten, 1995)
- Abb. 4:** Investitionsbedarf für Mastschweineeställe (Gartung et al., 2000)
Investment requirements for fattening pig sties (Gartung et al., 2000)
- Abb. 5:** Zuchtschweineestall für 64 produzierende Sauen
Sow house for 64 sows in production
- Abb. 6:** Güllelagerung außerhalb des Gebäudes
Slurry storage outside the building
- Abb. 7:** Güllelagerung unter dem Gebäude
Slurry storage under the building
- Abb. 8:** Grundriss und Schnitt eines Laufstalls für 40 Kühe
Plan and section of a loose house for 40 cows
- Abb. 9:** Laufstall für Kühe und Kälber mit Dungschieber
Loose house for cows and calves with mechanical dung removal
- Abb. 10:** Schrägmiststall für Kühe
Sloped floor for cows
- Abb. 11:** Moderner Kälberstall mit Stroh und Güllesystem (Gartung et al., 1997)
Modern calves' house with straw and slurry system (Gartung et al., 1997)
- Abb. 12:** Mastbullenhaltung auf Vollspaltenboden (Gartung et al., 2000)
Housing for fattening bulls on fully slatted floor (Gartung et al., 2000)
- Abb. 13:** Bodenhaltung von 3.000 Hühnern mit Schieberentmistung durch Traktor (Gartung und Knies, 1999)
Floor keeping of 3,000 hens with dung removal by tractor (Gartung and Knies, 1999)
- Abb. 14:** Schwimmende Abdeckung auf Kunststoff-Erdbecken
Floating cover on a plastic lined lagoon
- Abb. 15:** Natürliche Schwimmdecke auf Rindergülle in einer Biogasanlage
Natural swimming layer from cattle slurry solids in a bio-gas plant
- Abb. 16:** Schwimmende Kunststoffdecke auf Rindergülle in einer Biogasanlage
Plastic swimming layer on a round steel container for slurry
- Abb. 17:** Stahldeckel auf rundem Stahlbehälter einer Biogasanlage
Steel cover on a round steel container in a bio-gas plant
- Abb. 18:** Abdeckung eines Güllebehälters aus Aluminiumsegmenten auf einem Fachwerkrahmen
Cover of a slurry container made of aluminium segments on a frame structure
- Abb. 19:** Abdeckung eines Beton-Güllebehälters mit Holzfachwerk, Beplankung und Kunststoffbahnen
Concrete slurry container with wooden framework with plank and plastic sheet segments as a cover
- Abb. 20:** Kunststoffzelt mit Zentralmast als Abdeckung auf Beton-Güllebehälter
Plastic tent with centre pole as a cover of a concrete slurry container
- Abb. 21:** Versuchsvorrichtung für Eindringversuche
Test machine for the measurement of penetration
- Abb. 22-23:** Foto und Schnitt der Versuchseinrichtung über das Eindringen von Gülle in Beton
Photo and Sketch of facility for tests of penetration of slurry into concrete
- Abb. 24:** Schnitt der Versuchseinrichtung über das Eindringen von Jauche und Wasser
Sketch of facility for tests of penetration of liquid manure and water into concrete
- Abb. 25:** Grundriss eines mit Kunststoff ausgekleideten Erdbeckens in der FAL
Plan of plastic lined slurry lagoon in the FAL
- Abb. 26:** Lage der Kontrollbohrungen
Position of the control drills

Abb. 27: Ausrüstung für Probeentnahme
Probe drill equipment

Abb. 28-51: Versuche über das Eindringen von Wasser und Gülle in Beton
Tests on the penetration of water and slurry into concrete

Abb. 52-78: Versuche über das Eindringen von Wasser, Jauche und Gülle in Beton
Tests on penetration of water, liquid manure and slurry

Abb. 79-80: Messung der Ammoniak-Emissionen über einem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken mit Schwimmdecke aus Feststoffen und mit schwimmender PE-Abdeckung
Measurements of ammonia-emissions on a plastic lined slurry lagoon with swimming solids layer and with plastic cover

List of tables

Tab. 1: Eigenschaften und damit verbundene Probleme von natürlichem Düngen (Walter, 1995)
Qualities and related problems of natural fertiliser (Walter, 1995)

Tab. 2: Mittleres Vorkommen der Stoffe in verschiedenen Güllearten (Romaniuk, 2000)
Average elements in different slurries (Romaniuk, 2000)

Tab. 3: Aushärtungsprozess der Betonprüflinge und ihr Versuchszweck
Process of hardening of concrete samples and their test purposes

Tab. 4: Matrix der Versuche zur technischen Sicherheit von Stahlbeton-Güllebehältern
Matrix of tests "technical safety of concrete slurry containers"

Tab. 5: Maximale Eindringtiefe $e_{t_{max}}$ von Wasser, Jauche und Gülle in Beton B25 WU (Druck $0,05 \text{ Nmm}^{-2}$)
Maximum penetration depth $e_{t_{max}}$ of water, liquid manure and slurry into concrete B 25 WU (pressure 0.05 N mm^{-2})

Tab. 6: N_{min} (kg ha^{-1}) in trockenem Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken
 N_{min} (kg ha^{-1}) in a dry soil layer beyond a plastic lined slurry lagoon

Tab. 7: Theoretische Eindringtiefen im Vergleich zu gemessenen Eindringtiefen.....
Theoretical penetration depths in comparison to measured penetration depths

1 Preface and aim of the work

The methods of disposal and storage of liquid manure are very different world-wide. On the one hand this is caused by very different types and sizes of farms; on the other hand it is also caused by various climatic conditions. On little farms in very small villages, as for example in southern Germany, litter has been in use for centuries. The animal waste was stored in small pits. The liquid parts generally dripped from the ground plate of these pits, the small brown residues leaked into the ground somewhere. This is no longer acceptable.

The construction costs of agricultural facilities are determined by the legal requirements which is to protect the environment. In the past years new requirements have been regularly introduced by authorities issuing permits. Agricultural experts are debating which requirements are truly necessary and which of them simply increase the costs without a measurable increase in safety. In order to clarify this question, new studies are required.

For many years there have been complaints, that the procedures to get a building permission for slurry containers are too long, they are difficult, and too many other authorities take involved. From the point of view of the authorities the problem focuses on the question, whether the slurry containers are "tight" or not, as this is the main demand of the German Water Household Law (WHG), which may stand as an example for similar regulations for environmental protection in other countries, particularly in Poland. During the process of European harmonisation this will play an important role.

In the past several years (1999-2001) investigations were made on the problem of getting building permits for animal waste storage. It was studied by inquiries at different German farm building companies, where the building permit authorities see the problems during the long-lasting permit procedures for the building of slurry reservoirs.

With reference to the results of these inquiries, tests with concrete test blocks were run in the Technical University of Braunschweig. The tests will show which measures must be taken for the building of environmental by safe slurry storage.

1 Vorwort und Ziel der Arbeit

Die Ableitung und Lagerung von Flüssigmist sind weltweit sehr verschieden. Auf der einen Seite wird dieses durch die sehr verschiedenen Typen und Größen der landwirtschaftlichen Betriebe verursacht; auf der anderen Seite wird das auch durch die verschiedenen klimatischen Bedingungen bedingt. Auf sehr kleinen Betrieben in kleinen Dörfern, wie z. B. in Süddeutschland, wurde Jahrhunderte lang Einstreu benutzt. Der Mist wurde in kleinen Behältern gelagert. Allgemein tropften die flüssigen Bestandteile von der Bodenplatte dieser Behälter herunter, die kleinen braunen Rinnsale versickerten irgendwo im Boden. Dies wird nicht länger akzeptiert.

Die Baukosten landwirtschaftlicher Anlagen werden durch rechtliche Anforderungen bestimmt, die den Zweck haben, die Umwelt zu schützen. In den letzten Jahren wurden neue Regelungen durch die Baugenehmigungsbehörden eingeführt. Landwirtschaftsexperten streiten darüber, welche Anforderungen wirklich nötig sind und welche die Baukosten nur erhöhen, ohne einen messbaren Zuwachs an Sicherheit zu verursachen. Um diese Fragen zu klären, wurden neue Untersuchungen erforderlich.

Viele Jahre lang hat es Klagen gegeben, dass die Verfahren um eine Baugenehmigung für Güllebehälter zu bekommen zu lang sind, zu schwierig und dass zu viele weitere Behörden involviert werden. Aus der Sicht der Genehmigungsbehörden spitzt sich das Problem auf die Frage zu, ob Güllebehälter "dicht" sind oder nicht, denn dieses ist die Hauptforderung des deutschen Wasserhaushaltgesetzes (WHG), das sehr wohl als Beispiel für ähnliche Regelungen zum Zwecke des Umweltschutzes in anderen Ländern dienen mag, speziell in Polen. Dieses wird während des Prozesses der Europäischen Harmonisierung eine wichtige Rolle spielen.

In den vergangenen Jahren (1999-2001) wurden Untersuchungen angestellt über das Problem, Baugenehmigungen für Güllelagerung zu bekommen. Dieses wurde durchgeführt durch Umfragen bei verschiedenen deutschen Landbaugesellschaften, um herauszufinden, wo die Genehmigungsbehörden die Probleme bei den lang andauernden Genehmigungsverfahren für den Bau von Güllelagern sehen.

Mit Bezug auf die Ergebnisse dieser Umfragen wurden Versuche mit Probekörpern aus Beton durch die Technische Universität Braunschweig durchgeführt. Die Versuche werden zeigen, welche Maßnahmen unternommen werden müssen, um den Bau von Güllelagern umweltsicher zu machen.

2 Literature review

2.1 Regulations dealing with slurry storage and transportation

World-wide, there is a lot of concern on the possibility of environmental pollution coming from agricultural production many countries have launched laws and regulations for environmental protection. The following chapter deals with the most important regulations in this field in Germany and Poland.

2.1.1 German regulations

The most important legal source for keeping soil and water clean is the Water Household Law in Germany (Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaushaltsgesetz – WHG, Bundesgesetzblatt Jahrgang 1986, Teil 1; last amended Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil 1 Nr. 58, Bonn 18. Nov. 1996). Different Paragraphs deal with the storage of natural fertiliser. According to § 19 g section 2 (surface water) and § 34 section 2 (groundwater) any storage must be made in a way that no pollution can occur. To make these paragraphs even stronger § 22 says, that in case of an environmental damage the farmer must pay for it.

The most important legal source in Germany is the law on fertilisation, which in particular deals with the required capacities of the containers. Another important demand says, "that the transportation of slurry on fields must be made according to the good practise". The principle of this is to bring out the slurry only during the parts of the year, when the plants take up the nutrients. Also, the amount of nutrients must be calculated in a way so that there is no surplus, which may go into the groundwater [DüngeVo; Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26.01.1996 (BGBl I, S.118), last amended by order of 16.07.1997 (BGBl I, S.1851)]. Many technical details were described by the working-group "Länderarbeitsgemeinschaft Wasser – LAWA" (Katalog wasserwirtschaftlicher Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Sickersäften, LAWA Düsseldorf 1990). The main demand of the LAWA-catalogue is the tightness of all slurry containers, which must be controlled (Goldenstern, 1990a). Farmers' responsibilities for careful operation and checking the facilities is growing (Hackeschmidt, 2000). A general outline for the environmental protection with the storage of slurry was given by Goldenstern (1992). The most important technical regulation on how to build silage storage and slurry reservoirs is DIN 11622, which was under discussion for several

2 Literatur

2.1 Regelungen, die sich mit Güllelagerung und Gülletransport befassen

Weltweit besteht große Sorge über die Möglichkeit von Umweltschäden, die durch landwirtschaftliche Produktion verursacht werden. Viele Länder haben Gesetze und Regelungen für den Umweltschutz erlassen. Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den wichtigsten Regelungen auf diesem Gebiet in Deutschland und Polen.

2.1.1 Deutsche Regelungen

Die wichtigste Rechtsquelle, um Boden und Wasser sauber zu halten stellt das Wasserhaushaltsgesetz in Deutschland dar (Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaushaltsgesetz – WHG, Bundesgesetzblatt Jahrgang 1986, Teil 1; letzte Aktualisierung Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil 1 Nr. 58, Bonn 18. Nov. 1996). Verschiedene Paragraphen beschäftigen sich mit der Lagerung von natürlichen Düngern. Nach § 19 g Absatz 2 (Oberflächenwasser) und § 34 Absatz 2 (Grundwasser) muss jede Lagerung so durchgeführt werden, dass keine Verunreinigung auftreten kann. Um diese Paragraphen noch weiter zu stärken, sagt § 22, dass im Falle eines Umweltschadens der Landwirt hierfür aufkommen muss.

Eine weitere wichtige Rechtsquelle in Deutschland ist das Gesetz über Düngung, das sich insbesondere mit den erforderlichen Kapazitäten dieser Lager befasst. Eine wichtige Forderung sagt, „dass der Transport der Gülle auf das Feld entsprechend der Guten Praxis“ durchgeführt werden muss. Das Prinzip hierbei ist, die Gülle nur zu den Jahreszeiten aufs Feld zu bringen, wenn deren Aufnahme durch die Pflanzen am größten ist. Außerdem muss die Menge der Nährstoffe so berechnet sein, dass es keinen Überschuss gibt, der in das Grundwasser gehen könnte (DüngeVo; Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26.01.1996 (BGBl I, S. 118), zuletzt aktualisiert durch das Gesetz vom 16.07.1997 (BGBl I, s. 1851)). Viele technische Einzelheiten wurden durch die Arbeitsgruppe Länderarbeitsgemeinschaft Wasser – LAWA beschrieben (Katalog wasserwirtschaftlicher Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauch, Gülle und Sickersäften, LAWA Düsseldorf 1990).

Die Hauptforderung des LAWA-Kataloges ist die Dichtigkeit aller Güllelager, die kontrolliert werden muss (Goldenstern, 1990 a). Die Verantwortlichkeiten der Landwirte für umsichtiges Handeln und Prüfen der Einrichtungen wächst (Hackeschmidt, 2000). Eine allgemeine Richtlinie für den Umweltschutz bei der Lagerung von Gülle wurde durch Goldenstern gege-

years. Goldenstern (1990, 1993, 1994) gave reports on its improvement. DIN 11622 is divided in four parts:

- Silos for ensilage; dimensioning and construction; general directive
- Silos for ensilage; made by hollow concrete blocs; pre-fab concrete parts and reinforced concrete
- Silos for ensilage; made of wood
- Silos for ensilage, made of steel

and contains an additional leaflet with three proposals on how to connect the ground plate and the walls of slurry containers made of concrete (fig. 1).

ben (1992). Die wichtigste technische Quelle darüber wie Güllager gebaut werden müssen, ist DIN 11622, die jahrelang diskutiert worden war. Goldenstern (1990, 1993, 1994) berichtete über den Fortgang. DIN 11622 besteht aus vier Teilen:

- Futtersilos; Bemessung und Bau, allgemeine Anweisung
- Futtersilos; aus Hohlblock-Formsteinen; vorgefertigten Betonteilen und bewehrtem Beton
- Futtersilos aus Holz hergestellt
- Futtersilos aus Stahl hergestellt

und enthält ein zusätzliches Blatt mit drei Möglichkeiten, wie die Bodenplatte und die Wände von Behältern aus Beton miteinander verbunden werden können (Abb. 1).

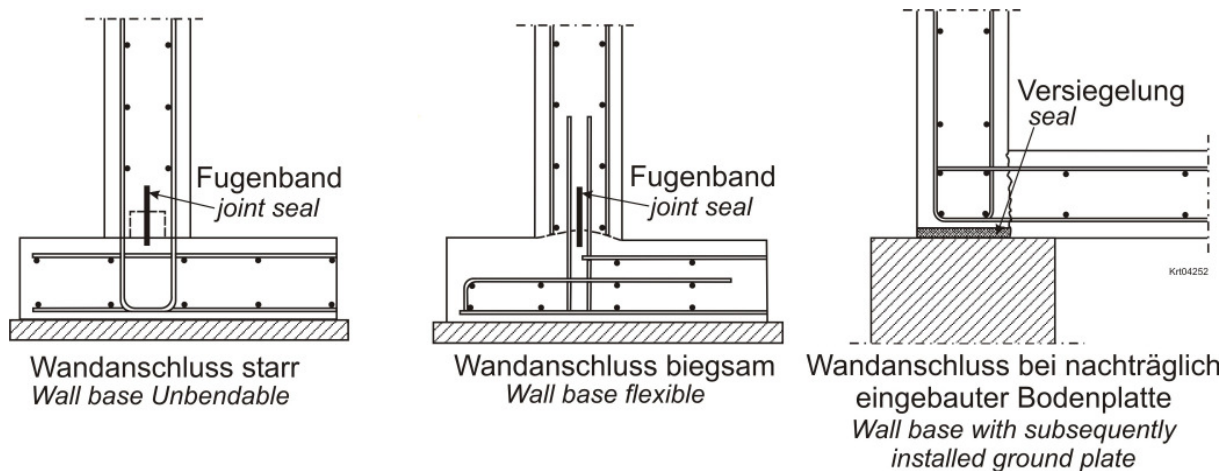


Abb. 1: Verschiedene Bodenplatten für Betonbehälter
Different wall bases for slurry containers of concrete

As a new part of the regulation the demand was added, that the upper edge of containers must be built strongly enough to carry a roof or a cover, which will close the container from the atmosphere. The static calculation of the containers must be calculated as totally filled up, without support of ground pressure against the walls. Also, the pressure of groundwater must not be considered, if there is some.

Another part of DIN 11622 deals with the construction of the ground plate. The minimum thickness is 18 cm, and the plate must stand on a layer of gravel, which prevents damage by frost. If the soil of the construction site is tight or sensitive to frost, this layer must be at least 20 cm thick, and it must work as a drainage layer as well (Goldenstern, 1994). More regulations dealing with the concrete quality are DIN 1045, DIN 4030, DIN 4226, DIN 1084 and the KTBL working sheets No. 1077. In some cases, an additional system for drainage control was demanded in Germany, which is shown in fig. 2.

Als neuer Bestandteil dieser Regulierung wurde die Forderung hinzugefügt, dass die Oberkanten dieser Behälter stark genug ausgeführt sein müssen, um ein Dach oder eine Abdeckung tragen zu können, welche den Behälter von der Atmosphäre abschließt. Die statische Berechnung der Behälter muss so ausgeführt werden als sei er bis obenhin gefüllt, ohne Berücksichtigung von Bodendruck gegen die Wände. Auch der Druck von Grundwasser darf nicht berücksichtigt werden, falls er besteht.

Ein anderes Teil der DIN 11622 befasst sich mit der Konstruktion der Bodenplatte. Die Mindestdicke ist 18 cm und die Platte muss auf einem Kiesbett stehen, welches Beschädigungen bei Frost verhindert. Falls der Boden des Baugrundes sehr fest ist oder empfindlich gegenüber Frost, muss diese Lage mindestens 20 cm dick sein und sie muss ebenfalls als Drainagepackung dienen (Goldenstern, 1994). Weitere Regelungen, die sich mit der Betonqualität befassen sind DIN 1045, DIN 4030, DIN 4226, DIN 1084 und das KTBL-Arbeitsblatt Nr. 1077. In einigen Fällen wurde in Deutschland ein zusätzliches Dränagesystem verlangt, welches in Abb. 2 gezeigt ist.

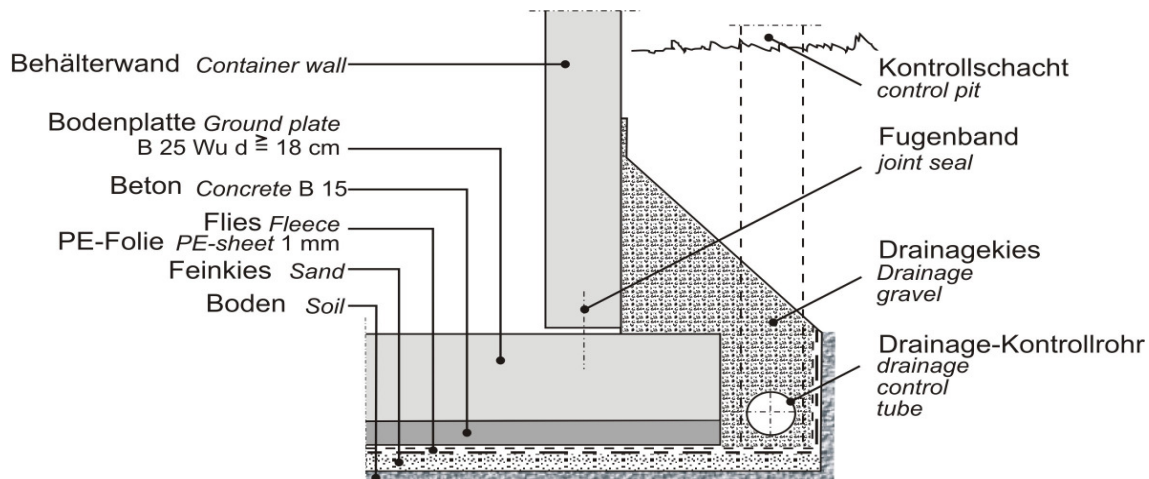


Abb. 2: Querschnitt eines Kontrolldrainagesystems (Krentler, 2002)
 Sketch of a system for drainage control (Krentler, 2002)

2.1.2 Polish regulations

The Polish Parliament launched a new law dealing, with "slurry and fertilisation" for the near future (Dziennik Ustaw, 2000, No. 89 pos. 991 dated 26.07.2000). The main sentences concerning the slurry storage are in Paragraph 18. It says:

- 1) Natural fertiliser as an effluent or as dung must be stored in buildings for the keeping of all animals or on impermeable ground plates. These buildings must be safe for the environment in so far, as they must be tight to the ground. The connection channels or tubes between the animal houses and the storage reservoirs also must be tight.
- 2) Natural fertiliser as an effluent must be stored in tight containers only and they must be big enough for a capacity of at least 6 months.

Both parts of the regulation are precisely congruent to the German regulations.

More problems of technical infrastructure on rural areas in Poland were discussed by Szeptycki (2000), including local public roads, land reclamation structures, water supply, building materials and structures, farm dwelling houses and waste management. Comparisons in these fields also showed much similarity to the German conditions. As the main aim of this work is the Central European harmonisation, no severe problems are to be expected.

2.1.3 Slurry transportation

Slurry transportation between farm building and storage reservoir must be "tight" as mentioned before; but other problems may occur as well. The slurry transportation on to fields will take place in

2.1.2 Polnische Regelungen

Das polnische Parlament brachte ein Gesetz heraus, das sich mit „Gülle und Düngung“ befasst und in der nächsten Zukunft greifen soll. Die Hauptsätze Güllelagerung betreffend, stehen im § 18. Der lautet:

- 1) Natürlicher Dünger als Flüssigkeit oder als Festmist muss in Gebäuden der Tierhaltung oder auf undurchdringlichen Bodenplatten gelagert werden. Diese Gebäude müssen umweltsicher sein insofern, als sie zum Boden hin dicht sein müssen. Die Verbindungskanäle oder -rohre zwischen den Stallgebäuden und den Lagerbehältern müssen ebenfalls dicht sein.
- 2) Natürlicher Dünger in flüssiger Form muss ausschließlich in dichten Behältern gelagert sein, die groß genug sein müssen für eine Lagerkapazität von mindestens 6 Monaten.

Beide Teile dieser Regelung sind vollständig deckungsgleich mit den entsprechenden deutschen.

Andere Probleme mit der technischen Infrastruktur in ländlichen Gegenden Polens wurden von Szeptycki (2000) diskutiert, einschließlich der öffentlichen Straßen, der Landnutzung, Wasserversorgung, Baumaterialien und Konstruktionen, Wohnhäusern und Umgang mit Abfällen. Vergleiche auf diesen Gebieten zeigten ebenfalls große Ähnlichkeit zu den deutschen Bedingungen. Da das Hauptziel dieser Arbeit die Harmonisierung in Mitteleuropa ist, sind von dieser Seite keine Probleme zu erwarten.

2.1.3 Gülletransport

Der Gülletransport zwischen dem landwirtschaftlichen Gebäude und dem Güllelager muss ebenfalls im vorher genannten Sinne „dicht“ sein; aber es können auch andere Probleme auftreten. Der Gülletransport

early spring time, when the weather conditions in Central Europe still may be very wet. The vacuum slurry tankers are very heavy some of them have between 20 and 30 tons of weight fully loaded.

This is why the building of field roads is also an important part of a well-functioning slurry system. There are different building materials suitable for the building of field roads. According to Hersel (1992) concrete is the most important one. But also track-roads with recycled material often were built (Lüpfert and Simon, 1995). The problem with field roads according to Mader, Schell and Kornacker (1988) is that they may be a barrier for animals.

During the past years all farm machinery has become heavier on an average. This lead to the question, whether farm roads meet current requirements. Meiner (1993) found, that by far most of the German farm roads, which were built in the 60s and 70s during the so-called "green plan" still are in good order. A compendium on the planning and construction of track roads was published by Müller (1986). Also the construction of the paving of farms should be considered (Witzel, 1982). The highest demands on the paving of a farm area deal with the construction of environmentally acceptable filling stations on farms (Klose and Uppenkamp, 1994).

2.2 Environmental impact of slurry

Slurry is a natural fertiliser which contains different nutrients. The type of fertilising is mainly related to the nitrogen content and the consumption of different plant cultures. Nitrogen losses must be minimised (Walter, 1993). Slurry is a most excellent fertiliser, but it cannot be stored in the soil. This is why it must be brought out on fields at the best time, i.e. when the plants can consume the nutrients (Walter, 2001). In Europe, animals mainly are kept in animal houses, so the building of slurry storage containers is necessary (Krentler and Bockisch, 2000).

Natural fertiliser increases the yield in plant production with the welcome side effect that mineral fertiliser can be saved, which otherwise must be bought (Blendl, 1984). Walter and Kessler (1998) point to the fact, that at scarce availability of nitrogen as a fertiliser the costs will increase, and therefore the farm's own fertiliser should not be neglected. On the other hand there are qualities, which make the use of natural fertiliser difficult. Table 1 shows a list of the qualities and their related problems.

zu den Feldern wird im frühen Frühling sein, wenn die Wetterbedingungen in Mitteleuropa noch sehr feucht sein können. Die Gülletankwagen sind sehr schwer, einige von ihnen haben Gewichte zwischen 20 und 30 Tonnen, wenn sie voll beladen sind. Aus diesem Grunde spielt der landwirtschaftliche Wegebau ebenfalls eine wichtige Rolle in einem gut funktionierenden Güllesystem. Es sind verschiedene Baumaterialien für den Bau dieser Straßen gebräuchlich. Nach Hersel (1992) ist Beton dabei der wichtigste Baustoff. Aber auch Spurstraßen mit Recyclingmaterial werden oft gebaut (Lüpfert und Simon, 1995). Nach Mader, Schell und Kornacker (1988) kann jedoch als Problem auftreten, dass diese Feldstraßen eine Barriere für Tiere bilden.

Während der vergangenen Jahre sind alle Landmaschinen im Mittel schwerer geworden. Dies führte zu der Frage, ob die Landwirtschaftswege heutigen Anforderungen entsprechen. Meiner (1993) fand, dass bei weitem die meisten deutschen Straßen, die in den 60er und 70er Jahren nach dem so genannten Grünen Plan gebaut worden waren, immer noch in gutem Zustand sind. Ein Kompendium über Planung und Bau dieser Straßen wurde von Müller 1986 veröffentlicht. Es sollte jedoch auch der Bau der Verkehrsflächen auf den landwirtschaftlichen Betrieben beachtet werden (Witzel, 1982). Die höchsten Anforderungen an die Ausführung der Flächen auf einem landwirtschaftlichen Betrieb betreffen die Konstruktion umweltakzeptabler Tankstellen (Klose und Uppenkamp, 1994).

2.2 Einfluss von Gülle auf die Umwelt

Gülle ist ein natürlicher Dünger, der verschiedene Nährstoffe enthält. Die Art der Düngung hängt in erster Linie vom Stickstoffgehalt und dem Verbrauch der verschiedenen Pflanzenkulturen ab. Die Stickstoffverluste müssen minimiert werden (Walter, 1993). Gülle ist ein überaus guter Dünger, aber er lässt sich nicht im Boden lagern. Aus diesem Grunde muss er zur bestmöglichen Zeit aufs Feld gebracht werden, d. h. wenn die Pflanzen die Nährstoffe aufnehmen können (Walter, 2001). In Europa werden Tiere meistens in Gebäuden gehalten. Deshalb ist hier der Bau von Güllelagern notwendig (Krentler und Bockisch, 2000).

Natürlicher Dünger erhöht den Ertrag in der Pflanzenproduktion mit dem willkommenen Nebeneffekt, dass mineralische Dünger eingespart werden können, die sonst hätten gekauft werden müssen (Blendl, 1984). Walter und Kessler stellen den Punkt heraus, dass bei knapperer Verfügbarkeit von Stickstoff als Dünger dessen Kosten ansteigen und deshalb der vorhandene Dünger auf dem Betrieb nicht vernachlässigt werden sollte. Auf der anderen Seite gibt es Eigenschaften,

Anderson and Christie (1998) tested the long-term application of animal slurries to grass on silage feeding quality for sheep and found that an agglomeration took place. They also recommend not to give more natural fertiliser than the plant can take. Polish methods of the use of agricultural waste were discussed by Romaniuk (1999). He points out the advantages of methane and aerobic fermentation methods in manure treatment for bio-fertiliser production. Pawlak (1996) stated that despite a moderate concentration, a poor infrastructure and farm equipment for animal waste disposal, animal production was a main factor of ground water pollution.

die den Gebrauch von natürlichem Dünger schwierig gestalten. Tabelle 1 zeigt eine Liste dieser Eigenschaften und der damit verbundenen Probleme.

Anderson und Christie (1998) versuchten die Langzeitausbringung von tierischem Dünger auf Gras und ihre Auswirkung auf die Silagequalität für Schafe und fanden heraus, dass eine Agglomeration stattgefunden hat. Sie empfehlen ebenfalls nicht mehr natürlichen Dünger zu geben als die Pflanze aufnehmen kann. Polnische Methoden für den Gebrauch von landwirtschaftlichem Dünger wurden durch Romaniuk (1999) diskutiert. Er stellt die Vorzüge der Methan und der aerobischen Fermentation bei der Behandlung von Mist zur Herstellung von Dünger heraus. Pawlak stellte 1996 fest, dass trotz einer geringen Konzentration geringer Infrastruktur und wenig Maschineneinsatz bei der Ausbringung von tierischem Dünger die tierische Produktion der Hauptfaktor für Grundwasserbelastungen war.

Tab. 1: Eigenschaften und damit verbundene Probleme von natürlichem Düngen (Walter, 1995)
Qualities and related problems of natural fertiliser (Walter, 1995)

| Eigenschaft/Quality | Problem/Problem |
|--|--|
| – Inhaltsstoffe sind stark verschieden <i>Contents of nutrients differ strongly</i> | – Optimierung der Dosierung ist schwierig <i>Optimising the doses is difficult</i> |
| – Konzentration von Nährstoffen ist gering <i>Concentrations of nutrients are small</i> | – Große Mengen von natürlichem Dünger werden gebraucht <i>Large amounts of natural fertiliser are needed</i> |
| – Stickstoff ist in verschiedenen Formen verfügbar <i>N is available in different forms</i> | – Ergebnis der Düngung ist unsicher (spezielle Beratung wird benötigt) <i>Result of fertilisation is unsafe (special extenuation service is needed)</i> |
| – Mineralischer Stickstoff <i>Mineral N as ammonium</i> | – Große Gefahr von Verlusten High danger of losses |
| – Stickstoff in Trockenmasse <i>N in organic matter</i> | – Ergebnis auf die Pflanzen ist unsicher in Bezug auf Zeit und Menge, es besteht die Gefahr von Umweltschäden <i>Result on plants unsafe concerning time and amount, danger of environmental damage</i> |

At the same time, the mechanised water supply raised the amount of farm sewage. His proposal is to reduce water pollution by building water – tight dunghills, liquid manure tanks and silos. For the total village area he advises building common purification plants. Another proposal by Kowalewsky (1999) is to process the slurry first before it is brought on to fields. Maćkowiak (1999) reports, that in Poland in 1980 there was a slurry production of about 18 million m³ (unfortunately there is no newer data) and refers to the Polish law No. 72, position 813, dated 31.08.1999, which describes the demands for the handling of animal waste (also see chapter 2.2. "regulations").

Zur gleichen Zeit erhöhte die Mechanisierung der Wasserversorgung die Abwassermenge. Um die Belastung des Grundwassers zu vermindern schlägt er daher vor, wasserdichte Festmisthaufen, Flüssigtanks oder Silos zu bauen. Für Dorfgebiete rät er zum Bau von Gemeinschaftskläranlagen. Ein anderer Vorschlag von Kowalewsky (1999) ist, die Gülle vor dem Ausbringen erst zu behandeln. Mackowiak (1999) berichtet, dass 1980 in Polen insgesamt etwa 18 Mio. m³ Gülle produziert wurde (unglücklicherweise gibt es keine neueren Daten darüber) und bezieht sich auf das polnische Gesetz Nr. 72, Position 813, datiert vom 31.08.1999, welche die Anforderungen für den Umgang mit tierischem Dünger beschreibt (siehe Kapitel 2.2 „Regelungen“).

Proposals for the use of slurry as a fertiliser were made by Maćkowiak (1997), with the demand of the so-called "good practise". Beckwith et al. (1998) dealt with the nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils and found effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. Weather data available to the public should be used for "good practise" (Walter, 1998).

2.2.1 Chemical quality of slurry in the soil

In a long-term field experiment (1973-1985) with slurry, farmyard manure and NPK slurry was applied to arable land. After harvest of plants samples were taken from the 0-20 cm arable layer for laboratory analysis. Under the fertilisation effect an increase of available elements in soil were measured like this: phosphorus by 3.7-3.8 mg, potassium by 2.5-10.3 mg and of magnesium by 0.1-1.3 mg per 100 g of the soil (Mazur and Sadej, 1989). Another experiment with a comparison of effectiveness of animal slurry nitrogen and commercial fertiliser nitrogen showed, that slurry has at least the same effectiveness (Mazur et al., 1984).

Sawicki and Wiater (1994) tested long-term fertilising of a pasture with various doses of mineral fertilisers and slurry and its effect on changes in soil pH. They found that high doses of slurry increase the soil pH as well as humus and available nutrients. Walter et al. (2001) tested a natural pasture in Switzerland after 35 years of fertilisation with slurry. They found a stabilised level of between 1.4-1.6 % of vegetable mould (humus) in the soil. Strączyńska et al. (1994) stated that a long-term fertilisation with liquid manure did not influence the reaction in the arable layer of the soil. Kowalik (2001) published a list of characteristic qualities of slurry.

A new method to follow the nutrients from slurry in the soil was found by Mengis et al. (2001), who used the stable isotopic composition ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) of nitrate. This method can be used to quantify microbial processes in the soil. According to Mazur et al. (1993) the effect of many years manure and slurry fertilisation was to increase the organic carbon content in soils. An investigation of Koc (1994) showed that the application to the soil led to a systematic increase of the soil acidity.

An analysis of 124 slurry samples by Koc (1989) from 12 dairy cow farms and 14 pig fattening farms showed that cow slurry contained 8.28 % dry matter, 0.33 % N, 0.09 % P, 0.29 % K, 0.15 % Ca and 0.03 % Mg and small doses of metals. The pig

Verbunden mit der Forderung nach der so genannten 'guten Praxis' wurden Vorschläge für den Gebrauch von Gülle als Dünger von Mackowiak (1997) gemacht. Beckwith et al. (1998) beschäftigten sich mit den Hydratverlusten nach der Aufbringung von organischem Dünger auf sandigen Boden und sie fanden Auswirkungen durch die Aufbringungszeit, Art der Gülle, Zwischenfrucht und Art der Nitrifizierung. Nach Walter (1998) sollten auch Wetterdaten für die Öffentlichkeit zur Verfügung stehen für den Gebrauch der 'guten Praxis'.

2.2.1 Chemische Eigenschaften von Gülle im Boden

Ein Langzeitfeldexperiment 1973-1995 mit Gülle, Festmist und NPK-Gülle auf Ackerland wurde durchgeführt. Nach der Ernte wurden Pflanzenproben aus einer Tiefe von 0-20 cm aus dem Ackerboden entnommen und im Labor untersucht. Folgende Elemente im Boden wurden nach der Düngung gemessen: Phosphor 3,7-3,8 mg, Calcium 2,5-10,3 mg und Magnesium 0,1-1,3 mg pro 100 g des Bodens (Mazur und Sadej, 1989). Ein anderes Experiment mit einem Vergleich der Effektivität von tierischer Gülle und Handelsdünger zeigte, dass Gülle mindestens die gleiche Effektivität aufwies (Mazur et al., 1984).

Sawicki und Wiater (1994) versuchten die Düngung einer Weide mit verschiedenen Dosen von Mineraldünger und Gülle und seinen Effekt auf die Veränderungen des pH-Wertes im Boden. Sie fanden, dass hohe Dosen von Gülle den pH-Wert im Boden erhöhen, genauso wie den Humusanteil und die verfügbaren Nährstoffe. Walter et al. (2001) untersuchte in der Schweiz eine natürliche Weide nach 35 Jahren Düngung mit Gülle. Sie fanden ein ausbalanciertes Niveau zwischen 1,4 und 1,6% Humus im Boden. Straczynska und andere. stellten 1994 fest, dass eine Langzeitdüngung mit Jauche die Reaktion im Ackerland nicht beeinflusste. Kowalik veröffentlichte 2001 eine Liste der charakteristischen Eigenschaften von Gülle.

Eine neue Methode, die Nährstoffe im Boden nach Güllegabe zu verfolgen, wurde durch Mengis et al. 2001 gefunden, die das stabile Isotop Delta 15 Stickstoff und Delta 18 Sauerstoff des Nitrates benutzen. Diese Methode kann ebenfalls genutzt werden, um mikrobiologische Prozesse im Boden zu quantifizieren. Nach Mazur et al. (1993) erhöhte sich nach vielen Jahren der Düngergabe der Anteil organischen Kohlenstoffs im Boden. Eine Untersuchung von Koc (1994) zeigte, dass die Gabe von Gülle auf den Boden zu einer systematischen Erhöhung der Sauberkeit des Bodens führte.

Eine Analyse von 124 Gülleproben durch Koc (1989)

slurry contained, on the average, 4.93 % dry matter, 0.33 % N, 0.09 % P, 0.17 % K, 0.09 % Ca and 0.03 % Mg as well as small doses of other metal. The main cause of the slurry composition is its dilution with water. Kania et al. (1991) studied the effect of slurry fertilisation with relation to the season. They found, that the slurry applied on March 15 resulted in the highest yields.

An investigation by Hus et al. (1994) proved that slurry manure from industrial farms contained considerably smaller amounts of dry matter and nutrients as compared to manure from individual farms, due to improper water management. Liquid manure, stored under good conditions, is valuable organic manure with nitrogen and potassium, but a small amount of phosphorus.

Investigations on the composition of subterranean waters, carried out on the Rudna river catchment area in Poland have proved that 65 % of the waters tested contained extensive amounts of P, 59 % of nitrates, 26 % of sulphates and 16 % of ammonia. Unequivocal statements could be made that concentrations of the above elements would depend on the rates of mineral fertilisers or slurry applied on that area (Roszyk and Szerszeń, 1989). Very similar investigations were made by Bottcher (1993) in the Lake Okechobee catchment in Florida (USA). On the basis of this method Qiao et al. (1994) designed a general computer monitoring and controlling system for environment of agriculture facilities in China.

A list of the chemical composition of slurry, seen from Polish conditions, was given by Górlach and Mazur (2001).

2.2.2 Environmentally friendly methods for the application of slurry

Internationally, there is understanding that the most environmentally friendly method for slurry application is injection (Kaczorowski, 1981). By this method, liquid manure containing up to 6 % dry matter, with size of particles not exceeding 5 mm can be applied.

In Switzerland dung and slurry as a fertiliser for potatoes in conventional agriculture is now seldom used. But this is different in "biological agriculture":

von 12 Milchviehbetrieben und 14 Schweinebetrieben zeigte, dass Gülle von Kühen 8,28 % Trockensubstanzgehalt, 0,33 % Stickstoff, 0,09 % Phosphor und 0,29 % Kalium, 0,15 % Kalzium und 0,03 % Magnesium und kleine Anteile von Metalle enthielt. Die Schweinegülle dagegen enthielt im Mittel 4,93 % Trockensubstanz, 0,33 % Stickstoff, 0,09 % Phosphor, 0,17 % Kalium, 0,09 % und zirka 0,03 % Magnesium und ebenso kleine Anteile anderer Metalle. Der Hauptgrund für die Zusammensetzung der Gülle ist die Lösbarkeit in Wasser. Kania et al. (1991) untersuchten den Einfluss von Gölledüngung in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Sie fanden, dass die Gülle, die am 15. März gegeben wurde, zu den höchsten Erträgen führte.

Eine Forschung von Hus et al. (1994) bewies, dass Gülle aus industriellen Großbetrieben beträchtlich kleinere Anteile an Trockensubstanz und Nährstoffen enthielt im Vergleich zu Gülle von Familienbetrieben, was als Folge unkorrekten Umgangs mit dem Wasser angesehen werden kann. Unter guten Bedingungen gelagerter Jauche ist ein wertvoller organischer Dünger mit Stickstoff und Kalium, jedoch nur einen kleinen Anteil von Phosphor.

Forschungen über die Zusammensetzung von unterirdischem Wasser, die durch Rudna in einem Flusseinzugsgebiet in Polen ausgeführt wurde zeigten, dass 65 % dieser Wasser hohe Anteile von Phosphor, 59 % Nitrate, 26 % Sulfate und 16 % Ammoniak enthielten. Gleichlautende Feststellungen wurden gemacht darüber, dass die o. g. Elemente in gleicher Anzahl durch mineralischen Dünger erreicht werden (Roszyk und Szerszen, 1989). Sehr ähnliche Forschungen wurden durch Bottcher (1993) im Einzugsgebiet des Lake Okechobee in Florida (USA) durchgeführt. Auf der Basis dieser Methode entwarfen Qiao et al. (1994) ein allgemeines Computerprogramm über die Beobachtung und Kontrolle von landwirtschaftlichen Anlagen in China.

Eine Liste chemischer Zusammensetzungen von Gülle unter polnischen Bedingungen gesehen, wurde durch Górlach und Mazur 2001 gegeben.

2.2.2 Umweltfreundliche Methoden der Gülleausbringung

International besteht Einvernehmen, dass die am besten umweltverträgliche Methode für die Gabe von Gülle die Einspritzung ist (Kaczorowski, 1981). Bei dieser Methode enthält der Dünger bis zu 6 % Trockenmasse mit einer Partikelgröße nicht größer als 5 mm.

In der Schweiz wird allgemein die Gabe von Festmist und Gülle als Düngung für Kartoffeln heute selten eingesetzt. Dies ist jedoch anders beim biologischen Anbau, wobei die Hersteller dringend Gülle benötigen.

where producers urgently need slurry. This slurry should be diluted with water so as not to damage or burn the plants (Heller, 2001). Kutera and Hus (1998) critically assess the localisation and size of industrial farms from the point of view of the possibilities of slurry manage in compliance with environment protection. They propose to establish optimum doses for plants and soils. Bahlmann (1986) recommends a combination of separation, aeration and irrigation for particular regions. Another proposal by Rossig (1984) is to use chemicals for the reduction of nitrification in slurry, as for example, Didin.

In Switzerland they also mix slurry with chopped straw as a fertiliser to slow down the dilution into the ground. As an important detail Nydegger et al. (1997) recommend cutting the straw as short as possible.

2.2.3 Special research on slurry from pigs

The total amount of slurry coming from pig farms very often is much higher than the animal waste itself. This indicates that there is a lot of water going into the slurry from different sources. Goldenstern (1994) recommends to first of all avoid water losses in the pig houses.

In a comparison of effectiveness of animal slurry nitrogen from pigs and commercial fertiliser nitrogen on the yield and chemical composition of potato tubers, Mazur and Maćkowiak (1984) found that potato tubers from slurry-fertilised treatments contained more starch and less protein than those from mineral nitrogen treatments. Also, the residual effect of slurry nitrogen was weaker than that of mineral nitrogen.

Similar results were found by Kalembasa et al. (1990) on light and medium soil. Koc (1990a) dealt with the application of swine slurry to heavy soil. He found that considerable yield increases were obtained to 38 % for semi-sugar beet roots and 162 % for wheat straw. In another twelve year experiment conducted by Koc (1990b) on a sandy soil, he found the highest yield when the slurry was applied at rates equivalent to 195-280 kg N ha⁻¹.

The Netherlands faces a high surplus of manure and a serious concern about the effect of ammonia emissions on environmental acidification and the pollution of ground and surface water. Sows, weaners and slaughter pigs excrete 75, 38 and 63 % of the phosphorus generated (Peet-Schwering, 2000).

In Russia there is also much concern about the environmental impact of the large pig state farms. Vargova et al. (1990) propose to add sawdust and 2 % of zeolite to pig slurry and store it for 6 weeks

Diese Gülle sollte mit Wasser verdünnt sein, um die Pflanzen nicht durch Verbrennung zu beschädigen (Heller, 2001). Kutera und Hus (1998) beschäftigten sich kritisch mit der Lage und Größe industrieller landwirtschaftlicher Betriebe unter dem Gesichtspunkt des Güllemanagements in Verbindung mit dem Umweltschutz. Sie schlagen vor, optimale Dosierungen für Pflanzen und Boden festzulegen. Bahlmann (1986) empfiehlt eine Verbindung von Gülleseparierung, Belüftung und Bewässerung für spezielle Gebiete. Ein anderer Vorschlag durch Rossig (1984) ist, chemische Zusätze zu benutzen, um die Nitrifizierung in der Gülle zu reduzieren, so zum Beispiel Didin.

In der Schweiz wird auch die Gülle mit kurz gehäckseltem Stroh als Dünger verwendet, um das Einsickern in den Boden zu verlangsamen. Als wichtige Einzelheit empfehlen Nydegger et al. (1997), das Stroh so kurz wie möglich zu häckseln.

2.2.3 Spezielle Forschung über Schweinegülle

Die absolute Güllemenge aus Schweinebetrieben ist oft sehr viel größer als der tierische Mist allein. Dies deutet darauf hin, dass es eine Menge Wasserverluste gibt, die aus verschiedenen Quellen in die Gülle eingehen. Goldenstern (1994) empfiehlt daher, zu allererst Wasserverluste bei Schweinebetrieben zu verringern.

In einem Vergleich der Effektivität des Stickstoffs aus Schweinegülle mit Stickstoff aus Kunstdünger auf den Ertrag und die chemische Zusammensetzung von Kartoffelknollen, fanden Mazur und Mackowiak (1984), dass Kartoffeln aus mit Gülle gedüngten Feldern mehr Stärke und weniger Protein enthielt als jene von Kunstdünger. Auch war das Auftreten von Stickstoff aus Gülle geringer, als derjenige von Mineraldüngern. Ähnliche Resultate wurden durch Kalembasa et al. (1990) auf leichtem und mittlerem Boden gefunden. Koc (1990a) beschäftigte sich mit der Gabe von Schweinegülle auf schweren Boden. Er fand beträchtliche Steigerungen des Ertrages bis zu 38 % bei Zuckerrüben und 162 % bei Weizenstroh. In einem anderen 12 Jahre dauernden Experiment, von Koc (1990b) auf sandigem Boden ausgeführt, trat der höchste Ertrag auf, wenn die Gülle in Raten entsprechend 195-280 kg Stickstoff pro Hektar aufgebracht wurde.

Die Niederlande sehen sich einem großen Überschuss von Gülle entgegen und es gibt ernste Befürchtungen über die Auswirkungen von Ammoniakimmissionen auf die Versäuerung der Umwelt und die Verschmutzung von Grund- und Oberflächenwasser. Zuchtschweine, Jungsaunen und Schlachtschweine geben 75, 38 und 63 % des Phosphors insgesamt ab (Peet-Schwering, 2000).

Auch in Russland gibt es große Besorgnis über den

with turning after 1 and 3 weeks.

2.2.4 Special research on slurry from cattle and cows

The effect of cattle liquid manure nitrogen depending on its application date and rate were studied by Kania et al. (1990). The liquid manure came from a farm of young fattening cattle and contained 6 % of dry matter, and it was applied at four dates: October 15, December 15, March 15 and April 15 in rates containing 60, 120, 180 and 240 mg of total nitrogen per hectare. The highest yields obtained at the highest liquid manure rate, i.e. containing 240 kg of nitrogen per hectare.

A study of Mazur et al. (1980) dealt with seasonal quantitative changes in different nitrogen forms in the liquid manure of cattle. The loss of dry matter in the cattle slurry amounted to 20 % in summer and 16 % in winter, during a 10-week storage period.

Investigations on the effect of nitrogen of cattle slurry and its solid and liquid fractions on selected plants were conducted by Kalembsa et al. (1990). They found good protein yield in fodder beets and oats.

Patni and Jui (1991) studied the spatial and temporal variability in the concentration of ammonia in 8-10 % total solids content of dairy cattle manure after 146 days and 285 days of storage. Although concentration variability with time and space was low relative to the initial concentrations, slurry at a depth of less than 1.0 m had consistently lower concentrations than at greater depth, particularly after the initial two months of storage.

Meyer et al. (2000) described the generation, collection, storage and utilisation of manure on large dairy operations in California (USA). Topics included are the limitations of water and nutrient budgeting, and limitations to manure application. Generally, lots of water is needed for the flushing systems to remove animal waste there.

Romejko (1986) tried to use electroosmosis for the dewatering of cattle excrements. The tests were conducted in a cubic container with horizontally located electrodes, the lower of which had perforated openings of 1.5 mm in diameter. In the first treatment the current density varied from 1.74 to 13.92 mA cm⁻², at a constant distance between electrodes of 10 cm. The total duration of measurement was 5 hours. The de-watering efficiency was highest when $j = 12.18 \text{ mA cm}^{-2}$.

Umwelteinfluss von großen Schweinebetrieben. Vargova et al. (1990) schlagen vor, einen Anteil Sägespäne und 2 % Zeolith der Schweinegülle hinzuzufügen und dieses Gemisch nach ein bzw. drei Wochen einmal umzuwälzen.

2.2.4 Spezielle Forschung über Gülle von Rindern und Schweinen

Die Auswirkungen von Jauche aus Rindergülle in Abhängigkeit von seiner Ausbringungszeit und Menge wurden von Kania et al. (1990) studiert. Die Jauche kam von einem Betrieb mit jungen Mastbullen und enthielt 6 % Trockenmasse und wurde an 4 Tagen ausgebracht: 15. Oktober, 15. Dezember, 15. März und 15. April mit 60, 120, 180 und 240 mg Stickstoff pro Hektar. Der höchste Ertrag zeigte sich bei der höchsten Rate, d. h. mit 240 kg Stickstoff pro Hektar. Eine Untersuchung von Mazur et al. (1980) beschäftigte sich mit den Veränderungen der verschiedenen Stickstoffformen in mengenmäßiger Hinsicht in Rindergülle. Der Verlust von Trockenmasse in der Rindergülle stieg während einer 10wöchigen Lagerperiode im Sommer auf bis zu 20 und im Winter auf 16 % an. Untersuchungen über die Auswirkung von Stickstoff aus Rindergülle und seinen festen und flüssigen Bestandteilen auf ausgewählte Pflanzen wurde durch Kalembsa et al. (1990) durchgeführt. Sie fanden einen guten Proteinertrag bei Futterrüben und Hafer. Patni und Jui studierten 1991 die flächenmäßige und die zeitliche Variabilität der Konzentration von Ammoniak in Rindergülle mit 8 bis 10 % Feststoffen nach 146 und 285 Lagertagen. Obwohl im Vergleich zu den ursprünglichen Konzentrationen die Variabilität in Bezug auf Zeit und Raum relativ niedrig war, hatte die Gülle in einer Tiefe von weniger als einem Meter beträchtlich niedrigere Konzentration als in größerer Tiefe, besonders nach den ersten zwei Lagerungsmonaten.

Meyer et al. (2000) beschrieben die Gewinnung, Sammlung, Lagerung und den Gebrauch von Gülle aus großen Milchviehbetrieben in Kalifornien (USA). Eingeschlossene Themen waren die Begrenzung des Wasser- und Nährstoffhaushaltes und die Begrenzungen der Güllegaben. Generell wird sehr viel Wasser für die "flushing systems" gebraucht, um dort den Tierkot zu bewegen.

Romejko versuchte 1986 Elektroosmose für die Entwässerung von Rindergülle einzusetzen. Die Versuche wurden in einem kubischen Behälter mit horizontal angebauten Elektroden durchgeführt, letztere hatte einen perforierten Boden mit Löchern von 1,5 mm Durchmesser. Die erste Behandlung zeigte eine Stromdichte variierend von 1,74 bis 13,92 mA x cm², bei einer konstanten Entfernung zwischen den Elektroden von 10 cm. Die Gesamtdauer der Messungen

A very specialised research on the use of cattle slurry was conducted by Kawecki and Kopytowski (1989, 1990) concerning the influence of fertilisation of two varieties of black currant. It was stated that because of this fertilisation the leaves of black currant contained mostly nitrogen, phosphorus and boron; the greatest quantities of chlorophyll were found in the leaves.

2.2.5 Other approaches to the "slurry-problem"

Against the background of monitoring water and soil in sites nearby to farmyard dunghills put on the ground, Pietrzak et al. (1998) discussed the experience and solutions in building tanks for animal waste. Similar to the German "*bauliche Modellvorhaben*" (test buildings for farms) (Krentler, 1993), they propose pilot farm buildings for the storage of animal waste in Poland.

On July 2-7, 2000, an international conference on Agricultural Engineering into the Third Millennium was held in Warwick (U.K.). Many authors discussed areas from the conference sessions, namely soil and water. New chances to improve the so-called "slurry problem" are seen in precision agriculture.

The Danish agriculture is characterised by high levels of specialisation, particularly in the pig, dairy, poultry and arable sectors. Danish agriculture is closely regulated by law, with particular reference to environmental impact. As part of the solution organic farming is supported by the Danish government (Pawlicki, 1999).

In the Netherlands about 227,000 tons of NH_3 per year are emitted by animal keeping. According to Kempkens (1989) and Boxberger and Gronaner (1989) these measures for reduction are planned: injection or ploughing of slurry into the soil, better animal housing and animal waste storage and optimising the N-management of the feeding.

In Germany as well as in Poland there is a tendency to set up recycling systems without producing a surplus which goes into the waste. This is in particular demanded for agriculture by different laws (Klikocka, 1988).

2.3 Exemplary animal housing with regard to slurry/dung-systems

Rational management of agricultural wastes bases on their proper removal from livestock buildings, transportation into the storage reservoirs and finally

betrug 5 Stunden. Die höchste Effektivität wurde bei $j = 12,18 \text{ mA} \times \text{cm}^{-2}$ gemessen. Eine sehr spezielle Forschung über den Gebrauch von Rindergülle wurde durch Kawecki und Kopytowski (1989, 1990) ausgeführt, den Einfluss der Düngung auf zwei Arten von schwarzen Johannisbeeren betreffend. Es wurde festgestellt, dass durch diese Düngegabe die Blätter der schwarzen Johannisbeeren mehr Stickstoff, Phosphor und Bor enthielten; die größten Mengen von Chlorophyll wurden in den Blättern gemessen.

2.2.5 Andere Ansätze zum "Gülleproblem"

Vor dem Hintergrund der Überwachung von Wasser und Boden in der Nachbarschaft von auf dem Boden stehenden Misthaufen von landwirtschaftlichen Betrieben diskutierten Pietrzak et al. (1998) die Erfahrungen und Lösungen beim Bau von Behältern für Gülle. Ähnlich den deutschen baulichen „Modellvorhaben“ (Krentler, 1993) schlugen sie vor, Pilotprojekte für die Lagerung von Gülle in Polen zu errichten.

Vom 2. bis 7. Juli des Jahres 2000 fand eine internationale Konferenz über Agrartechnik im 3. Jahrtausend in Warwick (U.K.) statt. Viele Autoren diskutierten verschiedene Teilgebiete, namentlich Boden und Wasser. Neue Möglichkeiten, das so genannte Gülleproblem zu verbessern, werden in "precision agriculture" gesehen.

Die dänische Landwirtschaft ist charakterisiert durch einen hohen Grad von Spezialisierung, besonders im Schweine-, Milchvieh-, Geflügelbereich und im Ackerbau. Die dänische Landwirtschaft ist sehr stark reguliert durch Gesetze, mit besonderem Bezug auf Umwelteinflüsse. Als ein Lösungsansatz wird der biologische Anbau durch die dänische Regierung unterstützt (Pawlicki, 1999).

In den Niederlanden werden pro Jahr etwa 227.000 t von Stickstoff durch Tierhaltung emittiert. Nach Kempkens (1989), Boxberger und Gronauer (1989) sind folgende Maßnahmen zur Reduzierung geplant: Injizierung oder Pflügen von Gülle in den Boden, bessere Gebäude für Tiere und Güllelagerung sowie Optimierung des Stickstoffmanagements bei der Fütterung.

In Deutschland wie auch in Polen gibt es eine Tendenz, Recyclingsysteme zu errichten, ohne dass ein Überschuss erzeugt wird, der in den Acker geht. Dies ist bereits durch verschiedene Gesetze für die Landwirtschaft vorgeschrieben (Klikocka, 1988).

2.3 Beispielhafte Tierhaltung mit Blick auf Gülle-/Mistsysteme

Rationeller Umgang mit landwirtschaftlichen Abgängen basiert auf ihr sauberes Ausbringen aus den Ställen, ihren Transport in die Lagerbehälter und letztlich

correct utilisation. Plans of animal houses must fit to the slurry/dung-system. Boxberger et al. (1994) showed static systems with porters and beams on the edges of slurry channels to reduce the span.

$$\text{As } m_{\max} = \frac{q \times l^2}{8} \quad [1]$$

with m_{\max} = maximum momentum
 q = load
 l = span

the span goes into dimensioning as square, the reduction of span will reduce the cross-section of building parts, saves material and costs. Möller (1992) instead proposed free span prefabricated animal housing with the advantage that there would not be any problem with the plan. Also, in this case the plan can be changed after years according to the demand of the market, without touching the building structure. Brand (1987) stated, that in any case containers for animal waste storage are needed. A Polish proposal by Wierzbicki et al. (2000) is to store animal waste in mobile silos outside the building.

Investigations by Gartung (1986) on the usefulness of different roof covers for agricultural buildings showed that not every material should be used. As a result he proposed these four groups of material only:

- tiles from burned clay,
- concrete tiles (which from reasons of historical surrounding should be red),
- fibre cement plates (also red or colored at least),
- coated steel plates.

Flat silos to store silage are "non-movable facilities" (Brand, Klose 1999), they consist of a rectangular concrete plate with longitudinal walls of 1 to 2 m. They are filled and emptied by tractor. By law, silage juice is considered to be like slurry, and the same environmental regulations are in force. The ground plate shows a pitch of 2-3 % towards a channel or open groove, which goes into a pre pit. The pre pit is connected to the slurry reservoir by plastic tubes. For planning flat silos first of all the capacity needed has to be calculated, as follows:

$$c = \frac{n \times F \times d}{\gamma} \left[\text{m}^3 \right] \quad [2]$$

with c = storage capacity needed
 n = number of animals
 F = daily fodder ratio per animal and per day (kg/animal and day)
 d = number of days, when silage will be given (days)
 γ = specific weight of silage (kg/m³)

The specific weight of grass silage is given as 500-700 kg/m³, wet grass silage between 800 and 900 kg/m³. If for example a farmer has 50 cows and the daily ratio is 30 kg/cow and the animals will be in

den richtigen Einsatz. Die Grundrisse von Gebäuden zur Tierhaltung müssen zum jeweiligen Gülle-/Mist-system passen. Boxberger et al. (1994) zeigten, das statische Systeme mit Stützen und Trägern an den Decken von Güllekanälen die Spannweite verringern sollte.

$$\text{Da } m_{\max} = \frac{q \times l^2}{8} \quad [1]$$

mit m_{\max} = maximales Moment
 q = Auflast
 l = Spannweite ist,

geht die Spannweite bei der Dimensionierung im Quadrat ein, die Reduzierung der Spannweite wird also die Querschnitte von Bauteilen verringern, Material und Kosten sparen. Möller (1992) schlug stattdessen vor, vorfabrizierte frei gespannte Gebäude für die Tierhaltung einzusetzen mit dem Vorteil, dass es keine Probleme bei den Grundrissen gäbe. Auch kann in diesem Fall der Grundriss nach einigen Jahren entsprechend den Anforderungen des Marktes geändert werden, ohne dass die Gebäudestruktur angetastet werden muss. Brand (1987) stellte fest, dass in jedem Fall Behälter für die Lagerung der tierischen Abgänge benötigt werden. Ein polnischer Vorschlag von Wierzbicki et al. (2000), ist die tierischen Exkrememente in mobilen Silos außerhalb des Gebäudes zu lagern.

Untersuchungen von Gartung (1986) über die Brauchbarkeit verschiedener Dachmaterialien für landwirtschaftliche Gebäude zeigte, dass nicht jedes Material hierfür gebraucht werden sollte. Als Ergebnis schlug er nur diese vier Gruppen von Materialien vor:

- Dachziegel aus gebranntem Ton,
- Dachsteine aus Beton (welche aus Gründen der Baugeschichte rot sein sollten),
- Faserzementplatten (ebenfalls in rot oder zumindest farbig),
- beschichtete Stahlplatten.

Fahrsilos sind so genannte „nicht bewegliche Einrichtungen“ (Brand, Klose, 1999), sie bestehen aus einer rechteckigen Betonbodenplatte mit längs laufenden Wänden von 1 bis 2 m Höhe. Sie werden durch den Traktor gefüllt und entleert. Das Gesetz bestimmt, dass der Silosaft wie Gülle zu behandeln ist, daher treten die gleichen Umweltregelungen in Kraft. Die Bodenplatte weist ein Gefälle von 2-3 % in Richtung auf einen Querkanal oder eine offene Rinne auf, die wiederum in eine Vorgrube gehen. Die Vorgrube wird mit dem Güllebehälter durch Kunststoffrohre verbunden. Für die Planung von Fahrsilos muss zunächst deren Kapazität berechnet werden, die folgt:

$$c = \frac{n \times F \times d}{\gamma} \left[\text{m}^3 \right] \quad [2]$$

mit c = erforderliche Lagerkapazität
 n = Anzahl der Tiere
 F = tägliche Futterration pro Tier und Tag

the cow house for 200 days per year, the capacity needed will be:

$$c = \frac{50 \times 30 \times 200}{600} = 500 \text{ m}^3$$

2.3.1 Animal housing for fattening pigs

Pigs can be kept on straw, in deep litter, on sloped floors or on slatted floors. Slurry systems either need partly slatted floors or fully slatted floors. For economic reasons there is a tendency towards strawless systems on specialised pig farms (Marten, 1995). Strawless systems have established themselves, mainly because of the relatively unproblematic consistency of pig manure, they save labour and also have economical advantages.

As a result the standard of fattening pig houses has changed in the past few years. Nowadays, these types are built: double-row one-room sties, four-row sties with two compartments resulting from a partition in the middle, and the so-called coam type sties, where the pigs are stalled in groups of 80-120 fattening pigs per compartment for hygienic reasons.

Fig. 3 shows a typical plan, which is built more or less in all European countries. This goes for the construction of new buildings as well as buildings with new additions or conversions.

Horning (2000) states that these systems need higher investments and running costs for heating and ventilation though. Intensive husbandry often leads to animal health and welfare problems caused by poor environmental stimuli, perforated hard floors and lack of movement. Group housing systems with straw or access to the outside such as an outside run, pasture or even outdoor housing are regarded as an alternative housing system for cattle and pigs. Investments and running costs are often lower in straw-based systems – if storage for the straw is available. In many cases a higher amount of labour is necessary, which could be compensated by higher producer prices or subsidies from the government as is the case in Switzerland.

(in kg/Tier und Tag)

d = Anzahl der Tage, an denen Silage gegeben wird (Tage)

γ = spezifisches Gewicht der Silage (in kg/m³)

Das spezifische Gewicht von Grassilage wird mit 500-700 kg/m³ angenommen, nasse Grassilage zwischen 800 und 900 kg/m³. Falls ein Bauer z. B. 15 Kühe hat und die tägliche Ration 30 kg pro Kuh beträgt und die Tiere in einem Stall für 200 Tage gehalten werden, beträgt die benötigte Kapazität

$$c = \frac{50 \times 30 \times 200}{600} = 500 \text{ m}^3$$

2.3.1 Mastschweinehaltung

Schweine können auf Stroh, in Tiefstreu, auf Schrägböden oder auf Spaltenböden gehalten werden. Güllesysteme benötigen entweder Teilspaltenböden oder Vollspaltenböden. Aus ökonomischen Gründen gibt es eine Tendenz in Richtung der strohlosen Verfahren auf spezialisierten Schweinebetrieben (Marten, 1995). Strohlose Verfahren haben sich hauptsächlich dadurch eingeführt, dass die Konsistenz von Schweinegülle relativ unproblematisch ist. Sie sparen Arbeit und haben auch ökonomische Vorteile.

Als Ergebnis dessen, hat sich der Standard von Mastschweinehöfen in den letzten Jahren verändert. Heute werden folgende Typen gebaut: zweireihige Einraumställe, vierreihige Ställe mit 2 Abteilungen, die durch Längsteilung in der Mitte entstehen, und die so genannten Kammställe, bei denen die Schweine aus hygienischen Gründen in Gruppen von 80-120 Tieren pro Abteil gehalten werden.

Abb. 3 zeigt einen typischen Grundriss, der mehr oder weniger in ganz Europa gebaut wird. Dies gilt sowohl für Neubauten als auch für Anbauten oder Umbauten. Horning (2000) stellt fest, dass diese Systeme geringere Investitionen und laufende Kosten für Heizung und Belüftung benötigen. Intensive Tierhaltungssysteme führen oft zu Problemen bei der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Tiere, hervorgerufen durch geringe Umweltstimulierung, zu harte Spaltenböden und zu wenig Bewegung. Gruppenhaltungssysteme mit Stroh oder mit Zugang nach draußen wie einem Laufhof, Weide oder sogar Aufstallung draußen werden als Alternative für Rinder und Schweine angesehen.

Investitionsbedarf und laufende Kosten sind oft in Verfahren mit Stroh niedriger – wenn das Stroh vorhanden ist. In vielen Fällen ist mehr Arbeit erforderlich, was durch höhere Produktpreise oder Direktzahlungen der Regierungen kompensiert werden könnte, wie das in der Schweiz der Fall ist.

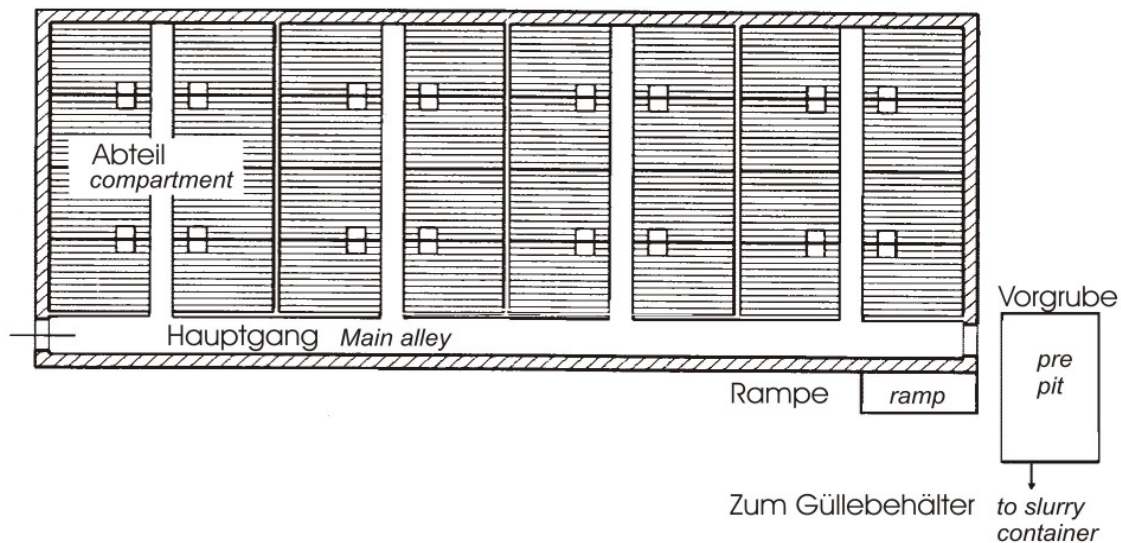


Abb. 3: Kammstall für Schweine mit abgeschlossenen Abteilen und Zentralgang (Marten, 1995)
Pig sty "coam type" with separate compartments and main alley (Marten, 1995)

Hesse et al. (1997) also deal with the question of whether animal and ecologically friendly systems are possible. In the years 1992-1995 three different methods to keep pigs were investigated and compared:

- pig keeping on deep litter, compost and sloped floor
- two slatted floor systems and improved sloped floor
- adaptation of the space per animal according to animal weight and use of a shower in the summer period.

According to their results the partly slatted floor seemed to be relatively friendly to both the animal and the environment.

The Test Station for Pig Keeping in Rosmalen/The Netherlands conducted a series of tests on floor design and dirtiness in pens for weaning piglets (Vermeer et al., 1995). Pen designs with partly slatted floors for piglets were compared to find a welfare-acceptable and environmentally friendly design with a clean floor that would prevent ammonia emissions.

Although pigs prefer a solid floor for lying, Netherlands Animal Health and Welfare Regulations prefer a partly slatted floor.

However, fully slatted floors are allowed at present, providing they are not made of concrete (for piglets). Pens with 1.2 m and 1.5 m were compared in 3x2 factorial experiment. Pens with solid floors at the front and back, having 0.12 and 0.15 m² of solid floor per pig, were used. All pens had a large and small slatted area with a curved solid area between them. Comparisons with triangular pens were also made.

Hesse et al. (1997) beschäftigten sich mit der Frage, ob Tier- und umweltfreundliche Systeme möglich sind. In den Jahren 1992 bis 1995 wurden drei verschiedene Methoden der Schweinehaltung erforscht und verglichen:

- Schweinehaltung auf Tiefstreu,
- Kompost und Schrägmist, zwei Systeme mit Spaltenböden und verbessert Schrägmist,
- Anpassung der pro Tier verfügbaren Fläche dem Gewicht entsprechend und Gebrauch einer Dusche im Sommer.

Diesen Resultaten entsprechend scheint der Teilspaltenboden der relativ tier- wie auch umweltfreundlichste zu sein.

Die Versuchsstation für Schweinehaltung in Rosmalen /Niederlande führte eine Reihe von Versuchen über Fußboden und Schmutz in Abteilen mit tragenden Schweinen durch (Vermeer et al., 1995) Buchtenentwürfe mit Teilspaltenboden für Ferkel wurden verglichen, um tier- und umweltakzeptable Möglichkeiten mit sauberen Fußboden zu finden, die Ammoniakverluste verhindern.

Obwohl Schweine eine feste Liegefläche vorziehen, spricht das niederländische Gesetz über Gesundheit und Wohlergehen für den Teilspaltenboden.

Jedoch sind z. Z. auch Vollspaltenboden erlaubt, vorausgesetzt sie sind nicht aus Beton hergestellt (für Ferkel). Buchten mit 1,2 m und 1,5 m wurden in einem 3 x 2 Faktor Experiment verglichen. Buchten mit festem Boden an Vorder- und Rückseite, mit 0,12 und 0,15 m² fester Fläche pro Tier wurden eingesetzt. Alle Buchten haben eine lange und schmale Spaltenbodenfläche mit einem gebogenen festen Teil dazwischen. Es wurden auch Vergleiche mit dreieckigen Buchten angestellt.

No differences in performance between the different pens were found. In pens 1.2 m wide, the solid and large slatted floor were cleaner than in pens 1.5 m wide. In pens with the solid floor at the front almost all dunging takes place at the back of the pen, because feeding is at the front. With the solid floor at the back of the pen, dunging is spread over the small and large slatted floors, and the total dirty area is larger.

It was concluded that the cleanest floor for weanling piglets would have been a solid floor at the front with 0.12 m² per pig, and be 1.20 m wide. It was also found that solid floors without slurry storage underneath can reduce ammonia emissions. Triangular pens have clean solid floors but dung accumulates on the slatted floor. However, triangular pens are impractical because they require an extra feeding alley and are more labour-intensive.

Another attempt by Freriks (1984) dealt with the Dutch experience with "box"-stables. The "box"-stable is an improved pig house with slatted floor. The pigs are kept in boxes, which provide a micro-climate, standing on the slatted floor part of a partly slatted floor. In contrast to former partly slatted floors here, the slats are oriented towards the control alley; the laying area with the solid part is situated in the back. The idea of this plan is to create a micro-climate, comparable to that in a box.

A proposal by Goldenstern (1999) is the structural alteration of a pig sty to an open slurry system. The runoff of the slurry will be in concrete rinses to a cross channel. The disadvantage of this system will be the odour from the open rinses. That is why another proposal also described by Goldenstern (1988) is to use slurry tubes under the cellar compartments for the connection between the crate and the slurry container outside the building. Experience up to now have shown that this system works very well. A valve in the slurry compartments is opened once a week for emptying, which causes very little odour in the pig house.

For better odour in the pig house Grimm and Ratschow (1993) tested a bio-filter for the piggery. It was stated that a reduction of odour is technically possible, but too expensive. The emissions from slurry storage reservoirs can also be reduced by swimming covers from polystyrol or other material.

The methods of pig production in large state farms in the former "GDR" were described by Schleitzer (1987). Because of the huge amounts of slurry per hectare a terrible impact on the environment had to be observed. After the German unification in 1989, these facilities were closed down. As the plans for these farm buildings might be of interest for the future, Krentler and Kehr (1994) systematically collected and registered them.

Es zeigten sich keine Unterschiede im Aufwuchs zwischen den verschiedenen Buchten. In den 1,2-m-Buchten waren die festen und geschlitzten Anteile des Bodens sauberer als in den Buchten mit 1,5 m Breite. In Buchten mit festem Boden an der Vorderseite fand fast das gesamte Abkoten im hinteren Bereich der Bucht statt, die Fütterung geschah an der Vorderseite. Mit dem festen Boden im rückwärtigen Teil der Bucht verbreitete sich das Abkoten über die gesamte Bucht und die insgesamt schmutzige Fläche wurde größer.

Daraus wurde geschlossen, dass der sauberste Boden für Absetzferkel mit fester Fläche an der Vorderseite und 0,1 pro m² pro Schwein, bei 1,20 m Breite auftritt. Es wurde auch gefunden, dass feste Fußböden ohne Güllelagerung darunter die Ammoniakimmissionen vermindern können. Dreieckige Buchten haben saubere feste Böden, aber der Dung sammelt sich auf dem Spaltenboden. Jedoch sind dreieckige Buchten unpraktisch, weil sie einen Extrafuttergang benötigen und arbeitsintensiver sind.

Ein anderer Ansatz von Freriks (1984) befasste sich mit den holländischen Erfahrungen über "Boxen"ställe. Der Boxenstall ist ein verbesserter Schweinestall mit Spaltenboden. Die Schweine werden in Boxen gehalten, die ein Mikroklima bilden, dabei stehen die Tiere auf Spaltenboden oder auf Teilspaltenboden. Im Gegensatz zu früheren Teilspaltenboden sind die Schlitzte hier auf den Kontrollgang ausgerichtet; die Liegefläche mit dem festen Anteil wird an der Rückseite angeordnet. Die Begründung für diesen Grundriss ist, ein Mikroklima zu erzeugen, das man mit dem in einer Kiste vergleichen kann.

Ein Vorschlag von Goldenstern (1999) ist die strukturelle Veränderung eines Schweinestalls mit einem offenen Güllesystem. Der Ablauf der Gülle geschieht in Betonhalbrohren in einem Querkanal. Der Nachteil dieses Systems dürfte der Geruch aus den offenen Rinnen sein. Aus diesem Grunde wurde von Goldenstern auch ein anderer Vorschlag beschrieben (1988), nämlich Güllerohre unter den Stallabteilen als Zuleitung zum Güllelager außerhalb des Gebäudes einzubauen. Erfahrungen bis heute haben gezeigt, dass dieses System recht gut funktioniert. Ein Ventil in den Abteilen wird einmal pro Woche zum Entleeren geöffnet, was sehr geringe Geruchsbelastigungen im Schweinestall bewirkt.

Zur Verbesserung des Geruchs im Schweinestall versuchten Grimm und Ratschow (1993), einen Biofilter einzusetzen. Es wurde festgestellt, dass so die Geruchsreduzierung zwar technisch möglich ist, jedoch zu teuer wird. Die Emissionen aus dem Güllelager können jedoch durch schwimmende Abdeckungen reduziert werden, die aus Polystyrol oder einem anderen Material hergestellt sein können.

Of course, one of the most important reasons to decide on a special pig house type are the building costs. Goldenstern (1986) reminds that fully functioning pig houses must at the same time be built at reasonable prices, which means as low as possible.

For many years a working group "Baukostendaten" (building costs) has dealt with the average costs of farm buildings and outdoor facilities for the Federal Agricultural Research Centre (FAL) in Braunschweig/Germany. This is conducted according to the so-called "cost bloc method". Since the animal stocks per farm have been increasing for many years, their last work on building costs for fattening pig sties deals with stocks from nearly 1,000 to more than 2,000 pigs.

Fig. 4 shows the main results. According to Gartung et al. (2000) the investment requirements for complete pig houses with dry feeding (type 25) for 1,008 pigs is 424 Euro per pig; for 2,016 pigs it is 383 Euro per pig. If the same pig houses are built with wet feeding (type 26), for the same stocks it will be 450 and 300 Euro. (Data are converted from DM into Euro by factor 1.95583 according to the official exchange rate.)

Die Methoden der Schweineproduktion in den großen Staatsbetrieben der früheren DDR wurden durch Schleitzer (1987) beschrieben. Wegen der dort sehr großen Mengen von Gülle pro Hektar wurde ein verheerender Einfluss auf die Umwelt beobachtet. Nach der deutschen Vereinigung im Jahre 1989 wurden diese Einrichtungen geschlossen. Möglicherweise sind jedoch diese Grundrisse für die Zukunft von Interesse, deshalb haben Krentler und Kehr (1984) diese systematisch gesammelt und registriert.

Natürlich ist einer der wichtigsten Gründe für die Entscheidung über ein spezielles Aufstallungssystem für Schweine von den Baukosten abhängig. Goldenstern (1986) erinnert daran, dass gut funktionierende Schweineställe aber auch zu vernünftigen Kosten gebaut werden müssen, was bedeutet, so niedrig wie möglich.

Viele Jahre lang hat sich eine Arbeitsgruppe „Baukostendaten“ in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig mit der Frage der Baukosten landwirtschaftlicher Gebäude und Anlagen befasst. Dieses wurde mit Hilfe der so genannten Kostenblockmethode gemacht. Seit dem die Bestände pro Betrieb ständig größer werden, befasste sich deren letzte Baukostenarbeit über Schweineställe mit Beständen von nahezu 1.000 bis über 2.000 Schweine.

Abb. 4 zeigt die wichtigsten Ergebnisse. Nach Gartung et al. (2000) reicht der vollständige Investitionsbedarf für Schweineställe mit Trockenfütterung (Typ 25) für 1.008 Schweine von 424 EUR pro Schwein bis 383 EUR pro Schwein bei 2.016 Schweinen insgesamt. Wenn die gleichen Stalltypen mit Flüssigfütterung ausgeführt werden (Typ 26), wird der Investitionsbedarf bei gleich großen Beständen 450 und 300 EUR betragen. (Diese Angaben wurden von DM in EUR durch den Faktor 1,95583 umgerechnet entsprechend dem offiziellen Wechselkurs.)

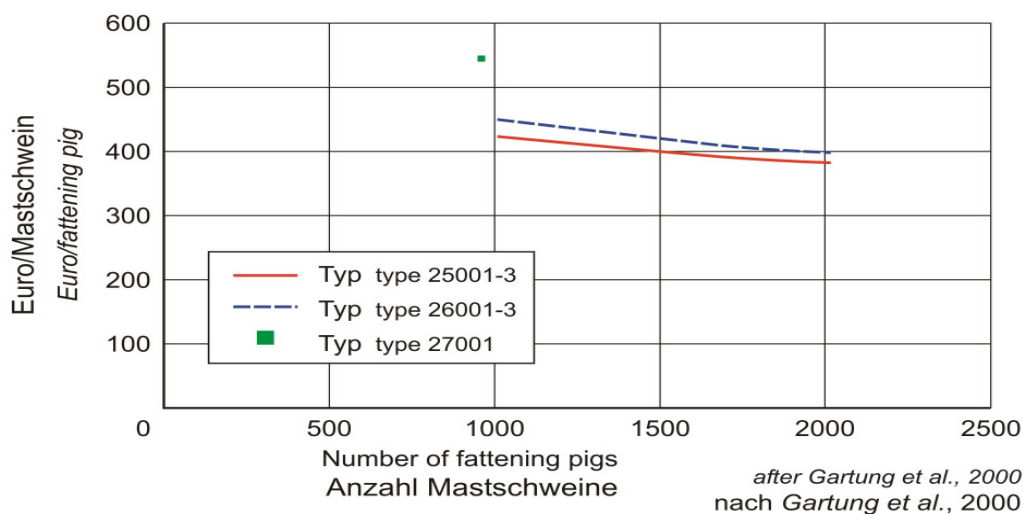


Abb. 4: Investitionsbedarf für Mastschweineställe (Gartung et al., 2000)
Investment requirements for fattening pig sties (Gartung et al., 2000)

2.3.2 Animal housing for sows

For pig production different compartments are needed as follows:

- young sow pens for the young sows
- mating pens for young sows, pregnant sows and boars
- waiting pens for pregnant sows
- farrowing pens for sows with piglets
- weaning pens for piglets.

In new sow houses these different pens are connected in one building (Eichhorn, 1999), of which one part must be insulated, the other part can be insulated. Gartung and Krentler (1982) showed a typical plan for 64 sows in production (Fig. 5). The upper part with mating pens and waiting pens has slatted floors for pigs, the lower part for farrowing and weaning needs floors with smaller slits for the piglets. This part needs a temperature of +27 °C.

2.3.2 Sauenhaltung

Für die Schweineproduktion werden verschiedene Stallabteile wie folgt benötigt:

- Jungsauenstall
- Deckstall
- Wartestall
- Abferkel- und Aufzuchtstall
- Absetzferkel.

In neuen Zuchtschweineställen werden diese verschiedenen Gebäude zu einem Gebäude zusammengefasst (Eichhorn, 1999), wobei die eine Hälfte isoliert ausgeführt werden muss, die andere muss nicht isoliert sein. Gartung und Krentler (1982) zeigten einen typischen Grundriss für 64 produktive Sauen (Abb. 5). Der obere Teil mit Deckstall und Wartestall hat Spaltenböden für Schweine, der untere Teil für das Abferkeln und die Aufzucht benötigt engere Spalten für die Ferkel. Dieser Stallteil benötigt eine Temperatur von +27 °C.

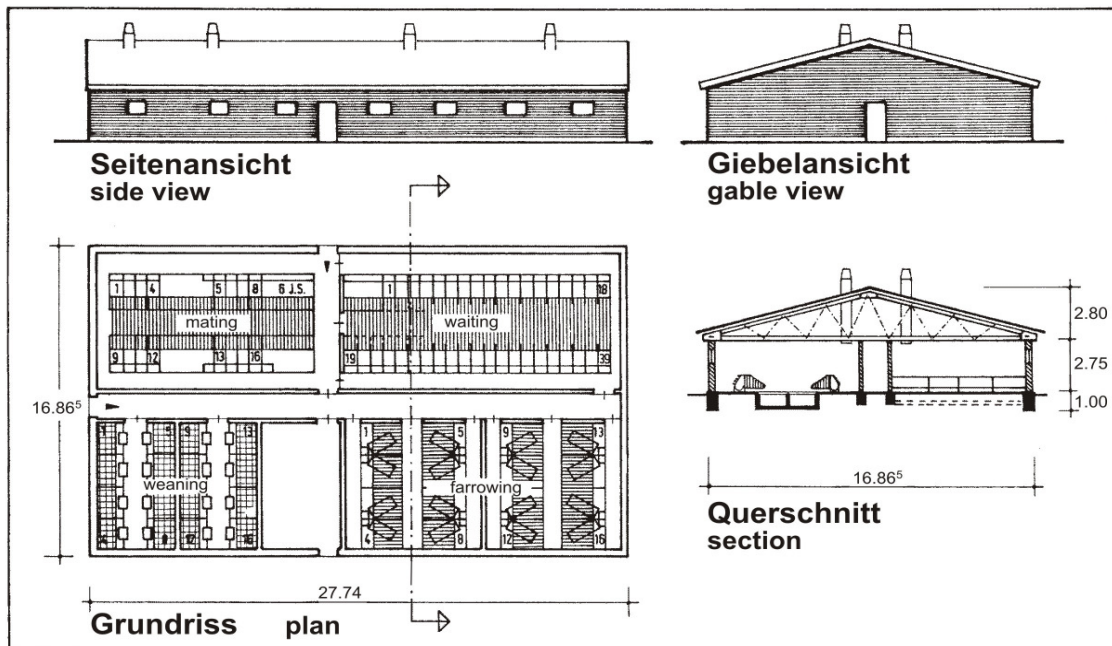


Abb. 5: Zuchtschweinestall für 64 produzierende Sauen
Sow house for 64 sows in production

As mentioned before, the ground plan must always fit to the "slurry"-plan underneath. In this case, two different ways of slurry storage are possible: Fig. 6 shows the outdoor storage. The concrete tubes under the farrowing pens, 1.54 m wide, are only 50 cm deep. The slurry continuously rinses into the cross channel by plastic tubes, 200 mm in diameter (Boxberger et al., 1994).

The concrete tubes under the weaning only need 94 cm of width, they are also connected to the cross channel by plastic tubes. The main concrete tubes

Wie schon erwähnt, muss der Grundriss des Stalls in jedem Fall zum Güllegrundriss darunter passen. In diesem Fall sind zwei verschiedene Möglichkeiten der Güllelagerung möglich: Abb. 6 zeigt die Lagerung außerhalb des Gebäudes. Die Betonwände unter dem Abferkelstall, 1,54 m breit, sind nur 50 cm tief. Die Gülle sickert kontinuierlich durch den Querkanal durch Kunststoffrohre mit 200 mm Durchmesser (Boxberger et al., 1994).

Die Betonwände unter dem Abferkelbereich brauchen nur 94 cm breit zu sein, sie sind ebenso mit Kunst-

under the waiting- and mating pens are locked from the cross channel by different flaps. So, the slurry runoff either can go clockwise or the other way round, which makes the runoff rather safe. The cross channel is 1.30 m deep and leads to a pre pit with a pump, which connects the pre pit and the outdoor slurry container, mostly made of concrete.

stoffrohren zum Querkanal verbunden. Der Hauptkanal unter dem Deck- und Wartestall wird über verschiedene Klappen angeschlossen. So kann die Gülle entweder im Uhrzeigersinn oder auch andersherum abgeleitet werden, was den Ablauf ziemlich sicher macht. Der Hauptkanal ist 1,30 m tief und führt zu einer Vorgrube mit Pumpe, die in die Vorgrube und den Behälter außerhalb des Gebäudes pumpt. Dieser ist meist aus Beton hergestellt.

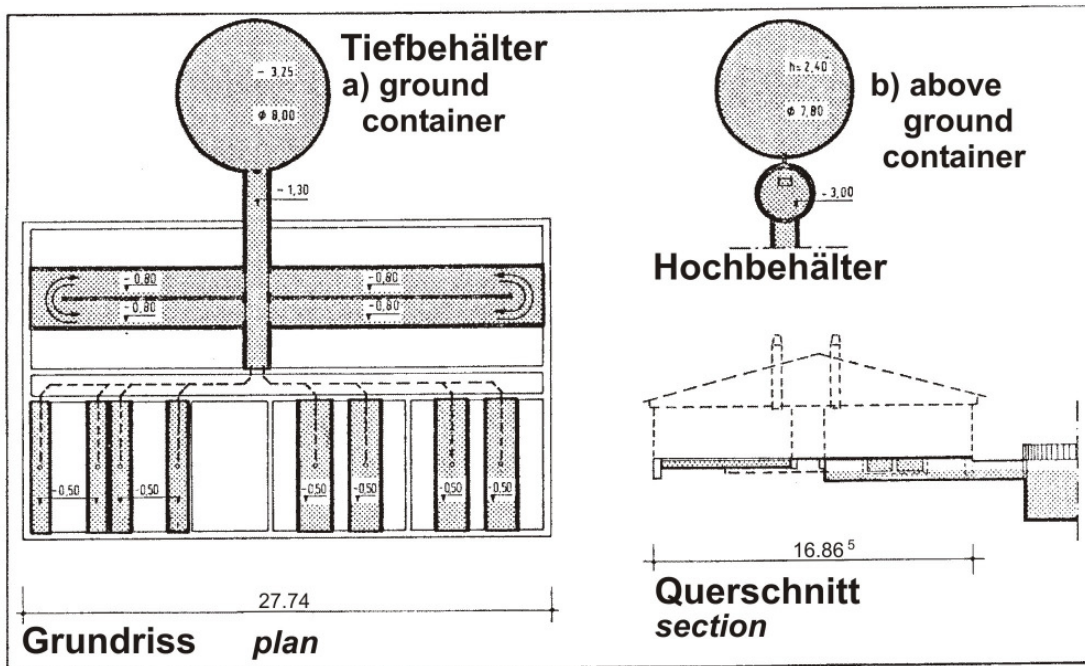


Abb. 6. Güllelagerung außerhalb des Gebäudes
Slurry storage outside the building

Another option is shown in Fig. 7. Here, the main channel is 2.20 m deep and serves as the slurry container at the same time. This channel is opposite to the first one and reaches 1.50 m out of the building to provide the emptying unit out of reach of the animals.

When the slurry is brought on fields, homogenisation may cause a problem, because hazardous gases occur. German regulations for this case say that all doors must be opened, homogenisation can only be made if there is wind, and the animals must be forced to stand up, as the highest concentration of gas is just on top of the slatted floors.

Another proposal for a pig production house is to connect the farrowing and weaning pens into one compartment. The advantage is, that the piglets after weaning must not be transported, which produces stress, but the slurry channels under this compartment all must be 1.54 m wide (Wenner et al., 1980).

Eine andere Möglichkeit wird in Abb. 7 gezeigt. Hier ist der Hauptkanal 2,20 m tief und dient zur gleichen Zeit auch als Güllelager. Dieser Kanal ragt vor Kopf 1,50 m weit aus dem Gebäude heraus um sicherzustellen, dass die Entleerung außerhalb der Reichweite der Tiere stattfinden kann.

Wenn die Gülle ausgebracht wird, kann das Homogenisieren problematisch werden, weil gefährliche Gase entstehen. Spezielle Regelungen für diesen Fall sagen, dass alle Türen geöffnet sein müssen und nur dann homogenisiert werden darf, wenn Wind geht. Außerdem müssen die Tiere angehalten werden aufzustehen, da die höchste Schadgaskonzentration direkt oberhalb des Spaltenbodens liegt.

Ein anderer Vorschlag für Zuchtschweineställe ist, den Abferkel- und den Aufzuchtbereich zusammenzufassen. Der Vorteil ist, dass die Ferkel nach dem Absetzen nicht transportiert werden müssen, was Stress verursacht, aber die Güllekanäle unter diesem Abteil müssten 1,54 m breit sein (Wenner et al., 1980).

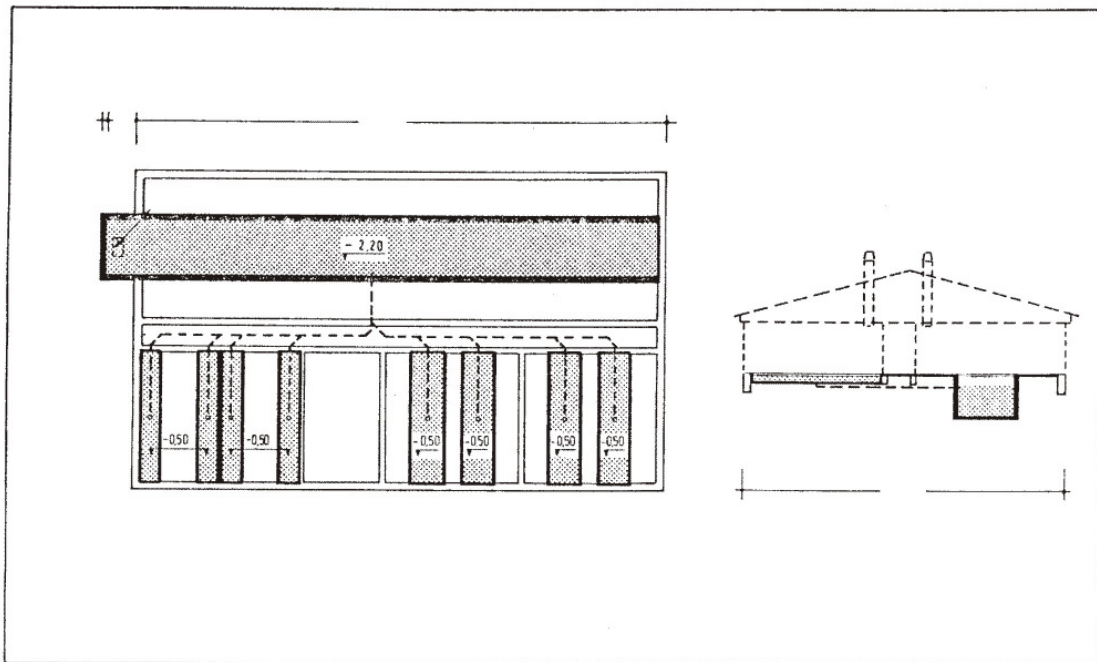


Abb. 7: Güllelagerung unter dem Gebäude
Slurry storage under the building

Similar proposals for sow stall planning were made by Goldenstern (1996). Due to the specialisation for economical reasons very big units are built today. Gartung et al. (1999) show a production unit with 160 sows, which was built that year by a northern German farm building company.

Further demands for more friendliness to animals can lead to economic effects such as more space per animal. In spite of the tendency of development the main economic effect will come from the amount of piglets per sow and year (Ernst, 1992).

Bigger sow houses need sufficient slurry storage capacity. This is why Vogt (1982) prognoses a tendency towards flat channels under the sow houses and storage in big concrete containers outdoors. The biggest units built in Germany of today were shown by Gartung et al. (2001).

2.3.3 Animal housing for milking cows and calves

Especially in the south of Germany, in the northern countries, in Austria, Switzerland and in Poland small herds of cows are often held in tethered houses in which dung systems with litter are used. In the future, however, bigger sheds will be needed in order to manage the work, and for economical reasons. Because of this, the dung systems will be

Ähnliche Vorschläge für die Planung von Zuchtschweineeställen wurden von Goldenstern (1996) gemacht. Wegen der Spezialisierung aus ökonomischen Gründen werden heute sehr große Einheiten gebaut. Gartung et al. (1999) zeigten eine Einheit für 160 produktive Sauen, die in dem Jahr durch eine norddeutsche Baugesellschaft gebaut wurde.

Weitere Anforderungen an die Tierfreundlichkeit können zu ökonomischen Effekten führen, wie z. B. der Bedarf größerer Fläche pro Tier. Trotz dieser Tendenz jedoch wird der Haupteffekt durch die Anzahl der Ferkel pro Sau und Jahr bestimmt werden (Ernst, 1992). Große Zuchtschweineeställe brauchen entsprechend große Güllelager. Aus diesem Grunde sagte Vogt (1982) eine Tendenz zu flacheren Kanälen unter Zuchtschweineeställen und Lagerung in großen Betonbehältern außerhalb voraus. Die größten Einheiten, die z. Z. in Deutschland gebaut werden, wurden durch Gartung et al. (2001) gezeigt.

2.3.3 Haltung von Milchkühen und Kälbern

Speziell in Süddeutschland, in den nordischen Ländern, in Österreich, der Schweiz und in Polen werden Kuhherden oft noch angebunden aufgestallt mit Entmistungssystemen mit Einstreu. In der Zukunft jedoch werden größere Ställe benötigt werden, um die Arbeit zu bewerkstelligen, sowie auch aus wirtschaftlichen Gründen. Aus diesem Grunde werden die Mist-systeme Güllesysteme ersetzt werden. In die-

replaced by the slurry systems. In this context the effects of the milk quota within the EU have often been discussed.

In fact, a slightly changed standard for cowsheds has already arisen in Germany; for the keeping of cows without young cattle with slurry systems in double-row pens, tethered houses with and without young cattle, and double- and three-row free stalls with young cattle are built (Achilles et al., 1990). In villages, these buildings are normally built on the farmstead.

The four-row free stalls instead are situated on larger farms in the fields instead. Big free stalls with 2x3 rows for 125 cows per unit were proposed by Boege (2000). On the whole it is interesting to observe that even for a stock of less than 40 cows free stalls are built more and more often.

Cow houses with outdoor climate are discussed moreover. Prefabricated concrete parts were developed. Every fifth part only has foundation for a pole, which carries the roof. A special development of this type in Italy consists of lying boxes from concrete, which are trough-shaped with straw as bedding material. These houses do not have side walls to save building costs. A comparable housing type was developed in Switzerland, the so-called "open-front-house", where at least one side is open (Zähner, 2000). The state of the art of animal housing for cows in Poland were shown by Romaniuk (2000). There are also two-, three- and four-row houses with slurry systems as well as with litter. Fig. 8 shows plans and sections of two-row houses with a comparison of slurry system to dung system. The plans and related sections are absolutely equal to the German standard. A loose house for 72 cows plus young stock is shown as Fig. 9.

The sloped floor house as a method to reduce labour with dung systems and for better animal welfare also is under discussion in Poland as well as in Germany (Fig. 10).

Every two years there is a farm building competition in Germany to show and to publish the newest solutions. The results of the year 2000 competition were published by de Baey-Ernsten et al. (2000). Generally, the authors stated that there are increasing environmental demands by the state, particularly if the farmstead is situated in a nature protection area (Naturschutzgebiet).

sem Zusammenhang werden die Auswirkungen der Milchquote in der EU oft diskutiert werden.

Tatsächlich hat in Deutschland bereits eine leichte Veränderung des Standards von Kuhställen begonnen; Kühe werden ohne Jungvieh in zweireihigen Ställen mit Güllesystem gehalten, es gibt Anbindeställe mit und ohne Jungvieh, und drei- und vierreihige Ställe mit Jungvieh werden gebaut (Achilles et al., 1990). In den Dörfern werden diese Gebäude normalerweise auf dem landwirtschaftlichen Betrieb gebaut.

Die vierreihigen Ställe dagegen, die auf großen Betrieben anstehen, werden in der Feldmark gebaut werden. Große Laufställe mit 2x3 Reihen für 125 Kühe pro Einheit wurden durch Boege (2000) vorgeschlagen. Insgesamt ist es interessant zu beobachten, dass selbst für Bestände von weniger als 40 Kühen immer mehr Laufställe gebaut werden.

Kuhställe mit Außenklima werden zunehmend diskutiert. Vorgefertigte Betonteile wurden hierfür entwickelt. Nur jeder fünfte Liegeplatz enthält einen Masten, der das Dach trägt. Eine spezielle Entwicklung dieses Typs in Italien besteht aus Liegeboxen aus Beton, die trogartig geformt und mit Stroh als Einstreu ausgestattet werden. Zur Einsparung von Baukosten besitzen diese Gebäude keine Seitenwände. Ein vergleichbarer Stall wurde in der Schweiz entwickelt, der so genannte Offen-Front-Stall, an dem zumindest eine Seite geöffnet ist (Zähner, 2000).

Der technische Stand des Baues von Kuhställen in Polen wurde durch Romaniuk (2000) gezeigt. Auch dort gibt es zwei-, drei- und vierreihige Gebäude mit Güllesystemen, wie auch mit Dungsystemen. Abb. 8 zeigt Grundrisse und Querschnitte von zweireihigen Ställen mit einem Vergleich des Güllesystems mit einem Mistsystem.

Die Grundrisse und die daraus resultierenden Querschnitte sind den deutschen Lösungen absolut ähnlich. Ein Laufstall für 72 Kühe mit Jungvieh wird in Abb. 9 gezeigt.

Der Schrägmiststall als Lösung, Arbeit bei der Entmistung zu sparen und um bessere Tiergesundheit und besseres Wohlbefinden der Tiere zu erreichen, wird sowohl in Polen als auch in Deutschland diskutiert (Abb. 10).

In jedem 2. Jahr gibt es in Deutschland einen Wettbewerb über landwirtschaftliches Bauen, um die neuesten Lösungen zu veröffentlichen. Die Ergebnisse des Wettbewerbes aus dem Jahr 2000 wurden von de Baey-Ernsten et al. (2000) veröffentlicht. Generell stellten die Autoren fest, dass es zunehmende Anforderungen des Staates über Umweltangelegenheiten gibt, insbesondere dann, wenn der landwirtschaftliche Betrieb sich in der Nähe eines Naturschutzgebietes befindet.

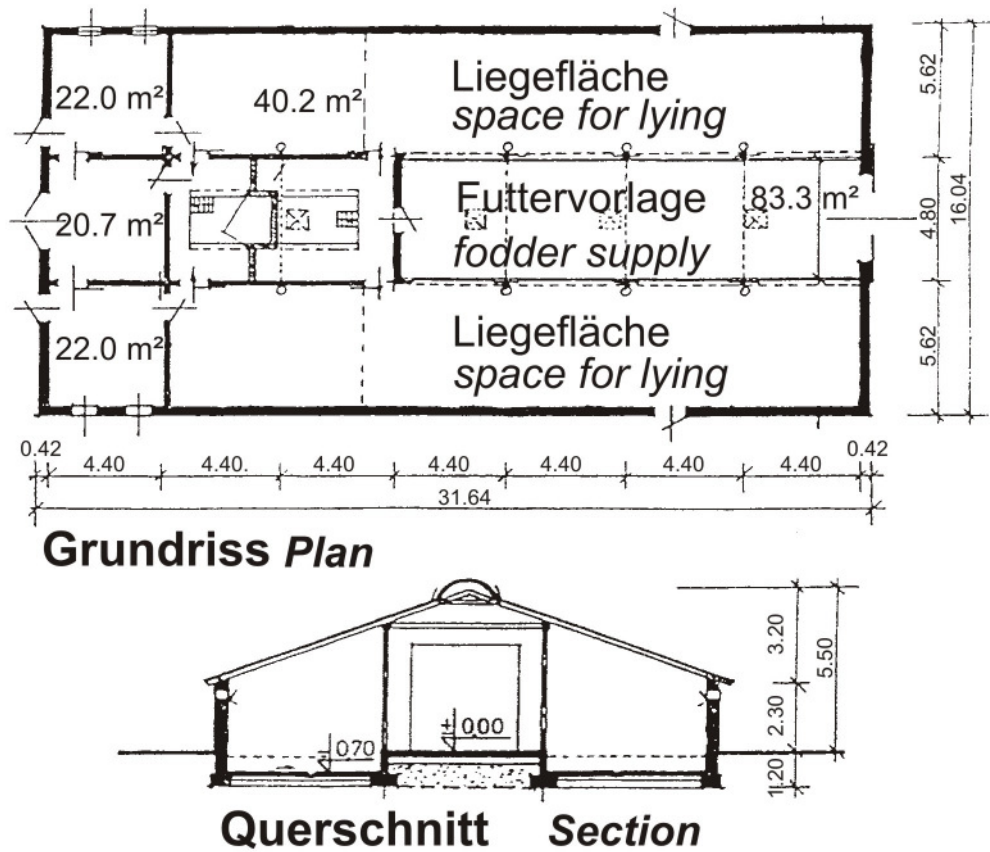
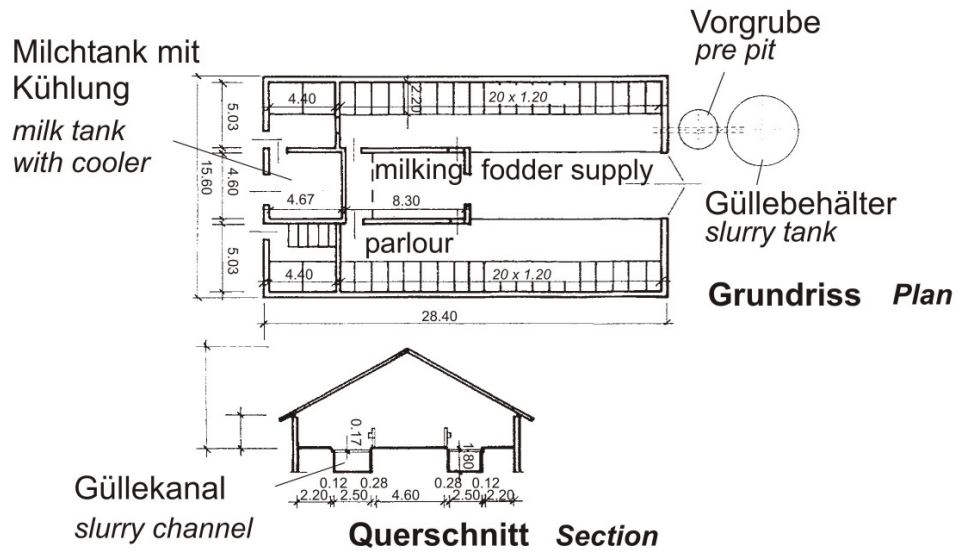


Abb. 8: Grundriss und Schnitt eines Laufstalls für 40 Kühe
Plan and section of a loose house for 40 cows

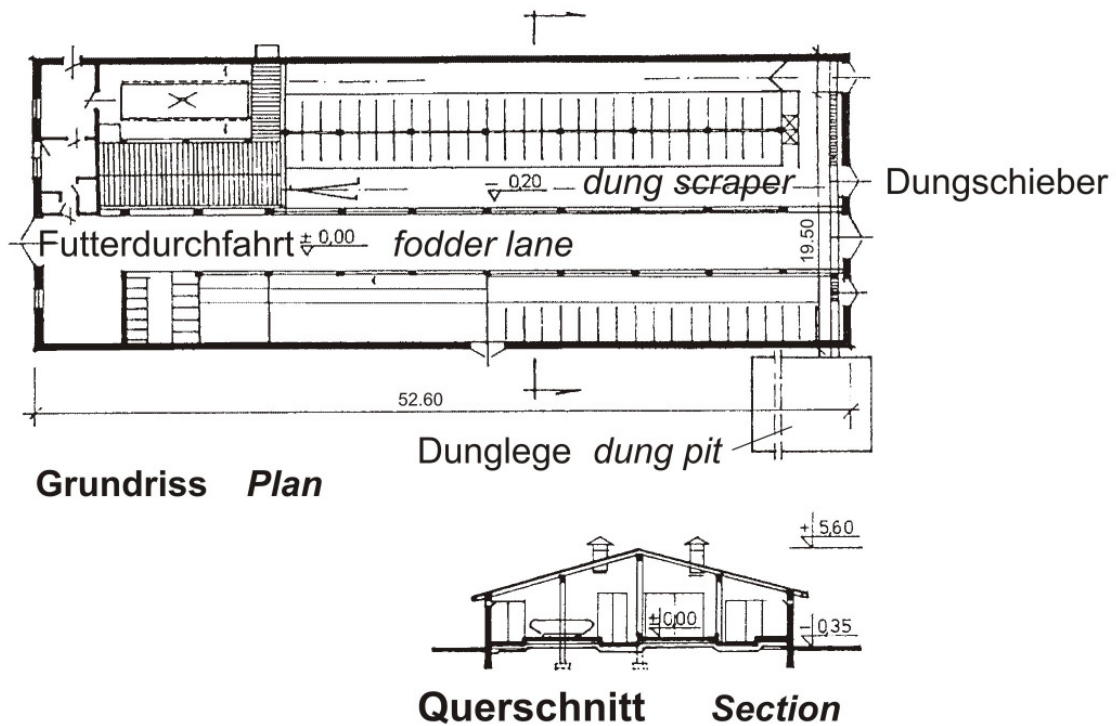


Abb. 9: Laufstall für Kühe und Kälber mit Dungschieber
Loose house for cows and calves with mechanical dung removal

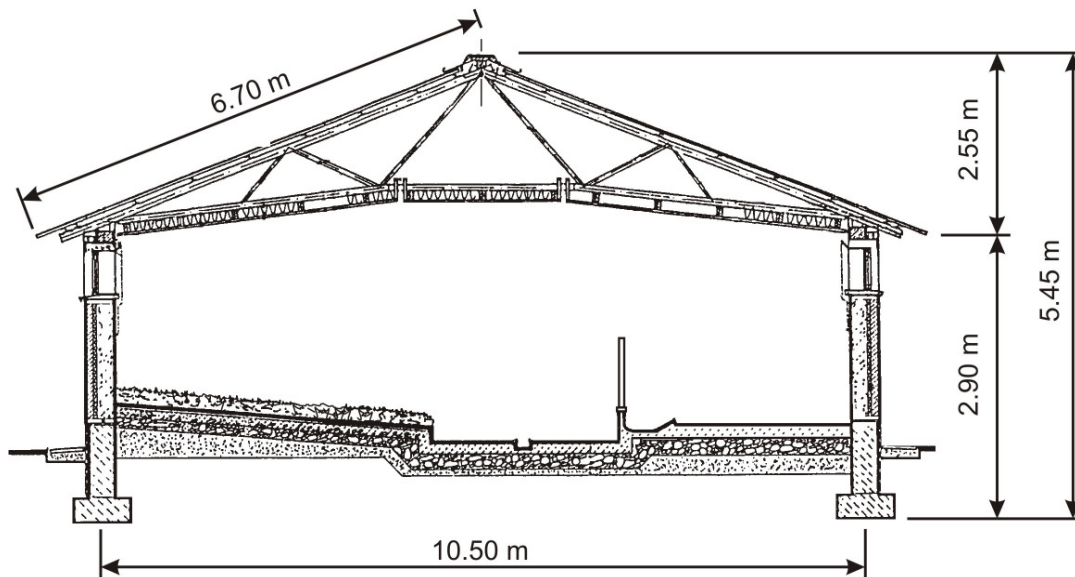


Abb. 10: Schrägmiststall für Kühe
Sloped floor for cows

In the Netherlands an investigation was conducted with the aim of limiting the NH_3 emissions from free stall dairy houses. NH_3 emission was measured in cubicle houses with slatted floors in the alleys by constantly monitoring the ventilation rate and the

In den Niederlanden wurde eine Forschung mit dem Ziel durchgeführt, die NH_3 -Emission aus einem Milchviehstall zu begrenzen. Die NH_3 -Emission in einem Stall mit Spaltenboden wurde auf den Laufgängen durch Messen der Luftwechselrate aufgenommen, und

NH₃ concentration in the exhaust air. The emission per cow appeared to be approximately 1 kg NH₃ per month. The NH₃ emission, measured by a Lindvall box, from the slatted floor and the slurry storage beneath the floor was approx. 650 mg NH₃ per m²; the emission from a solid concrete floor was slightly lower (Kroodsma et al. 1993).

Removing the manure with a dung scraper hardly reduced the emissions. Flushing, however, reduced the emissions by approximately 70 %. After installing a flushing system the NH₃ emissions and the amount of water for flushing were measured weekly at various pressures, flushing intervals and flushing times. The best results were obtained by flushing frequently for short periods. Compared with traditional cubicle houses the NH₃ emission could be reduced to approx. 30 %, but the amount of slurry, which must be stored, was doubled by the water.

Flushing systems for cow houses are mainly used in the southern USA and in South Africa (Bottcher, 1994). In these countries the danger of frost is very low due to their warm climatic conditions.

Due to the specialisation, in many cases the calves are no longer kept in the cow house, but in a special house. This is not only for better handling of the animals, but also for better hygienic conditions. In the past, many calves were lost to lung infections, caused by infected air coming from sick cows. This can no longer occur in modern calf houses as shown for example by Gartung et al. (1997) in fig. 11.

It is of importance to mention that the young calves are kept on straw, according to European regulations, whereas calves aged between 3 and 5 months walk on slatted floor with small slits to train the calves for the concrete slatted floor in the cow house. Actualised building cost data for these buildings was published by Gartung and Uminski (2000).

In Switzerland, new soft rubber mats as a replacement for straw as a bedding material were tested by Schaub et al. (1999). They found that rubber mats are more comfortable for cows than concrete floor, but not as good as straw bedding.

Of course, the houses with litter do not only need scrapers, but also machinery for the transportation of the dung to the dung hill. The most modern machinery for this purpose used in Switzerland was discussed by Steiner and Keck (2000).

die NH₃-Konzentration wurde in der Abluft gemessen. Danach wurden die Emissionen pro Kuh mit etwa 1 kg NH₃ pro Monat angenommen. Die NH₃-Emissionen, die durch eine Lindvallbox gemessen wurden, sowohl vom Spaltenboden wie auch aus der Güllelagerung unterhalb des Fußbodens, betrug etwa 650 mg x NH₃ pro m²; die Emissionen von einem festen Boden war etwas geringer (Kroodsma et al., 1993).

Die Misträumung durch einen Schieber reduzierte die Emissionen kaum. Spülen jedoch reduzierte die Emissionen auf etwa 70 %. Nachdem ein Spülsystem eingebaut worden war, wurden die NH₃-Emissionen und die für das Spülen benötigte Wassermenge wöchentlich unter verschiedenen Drücken und Spülintervallen gemessen. Die besten Ergebnisse wurden durch häufiges Spülen mit kurzen Perioden erreicht. Verglichen mit traditionellen Ställen konnte die NH₃-Emission um etwa 30 % reduziert werden, aber die Güllemenge, die gelagert werden musste, betrug das Doppelte durch das hinzu gegebene Wasser.

Spülsysteme in Kuhställen werden am meisten in den Südstaaten der USA und in Südafrika eingesetzt (Bottcher, 1994). In diesen Ländern ist die Frostgefahr durch die dort herrschenden warmen Klimabedingungen sehr gering.

Der Spezialisierung entsprechend werden Kälber in vielen Fällen nicht länger im Kuhstall, sondern in einem speziellen Gebäude gehalten. Dies dient nicht nur der besseren Handhabung der Tiere, sondern auch besseren hygienischen Bedingungen. In der Vergangenheit gingen viele Kälber durch Lungeninfektionen verloren, die durch infizierte Luft von kranken Kühen herrührten. Dieses kann in modernen Kälberställen nicht mehr auftreten, ein Beispiel wird von Gartung et al. (1997) in Abb. 11 gezeigt.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass junge Kälber auf Stroh gehalten werden müssen, was europäische Regelungen verlangen, während Kälber zwischen 3 und 5 Monaten bereits auf Spaltenboden mit schmalen Schlitzern laufen, um die Kälber auf den Betonspaltenboden im Kuhstall vorzubereiten. Aktualisierte Baukostendaten für diese Gebäude wurden von Gartung und Uminski (2000) veröffentlicht.

In der Schweiz wurden neue weiche Gummimatten als Ersatz für Stroh durch Schaub et al. (1999) getestet. Sie fanden, dass Gummimatten für Kühe zwar komfortabler sind als der Betonboden, jedoch nicht so gut sind wie Stroh.

Natürlich benötigen Ställe mit Einstreu nicht nur Dungschieber, sondern auch Mechanik für den Transport des Dungs zum Mistlager. Die modernste Einrichtung für diesen Zweck, die in der Schweiz eingesetzt wurde, wurde von Steiner und Keck (2000) diskutiert.

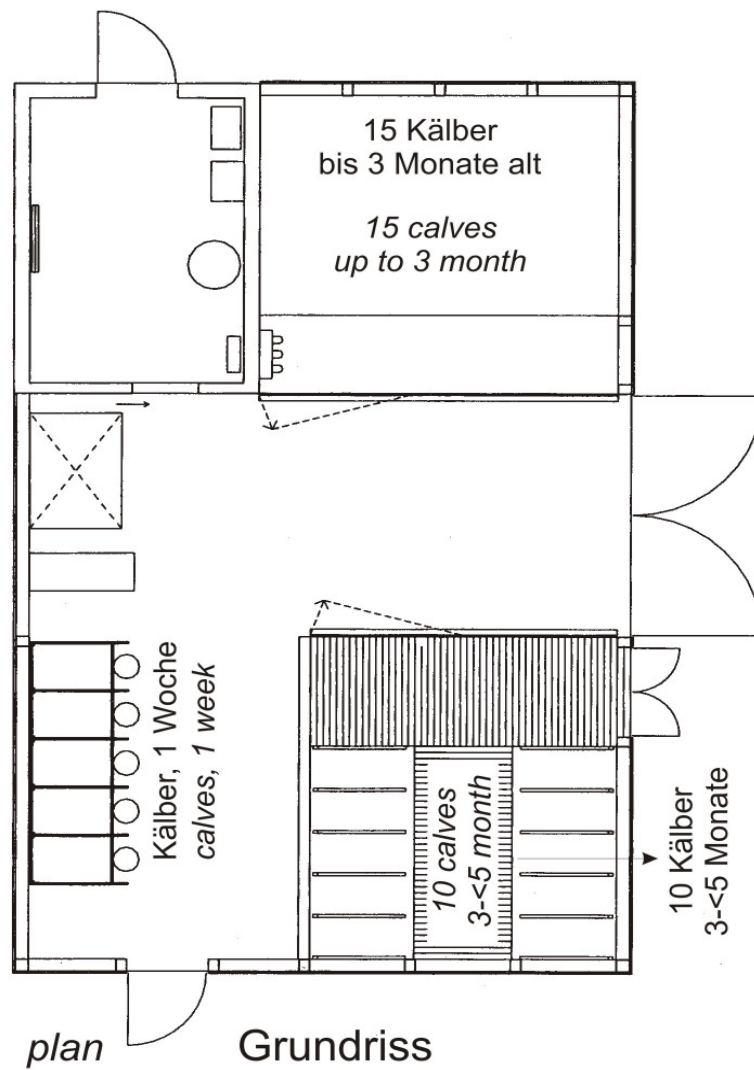
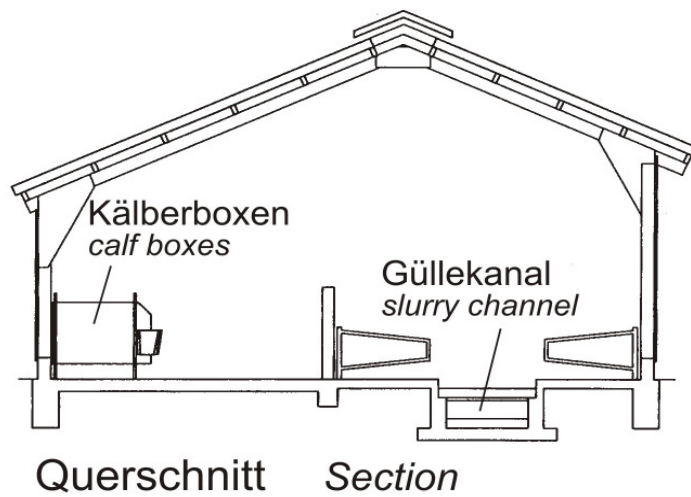


Abb. 11: Moderner Kälberstall mit Stroh und Güllesystem (Gartung et al., 1997)
 Modern calf house with straw and slurry system (Gartung et al., 1997)

In order to decide on a certain liquid manure system, it is first of all necessary to calculate the amount of liquid manure that will accumulate. On average, 50 l per cow and day can be estimated. This means that in a month $30 \times 50 \text{ l} = 1,500 \text{ l} = 1.5 \text{ m}^3$ per cow would be necessary. In four months this equals a volume of 6 m^3 and, for a storage of six months, 9 m^3 per cow. Finally, this amount needs to be multiplied by the number of animals. It should, however, be pointed out that the estimated amount of liquid manure per day depends on the different conditions within each different farm.

2.3.4 Animal housing for fattening bulls

If different fattening bull houses are compared, the focus is on the increase in weight per day, the costs for building and related technical equipment, human labour and questions of animal welfare. At the end of the fattening period the bulls should reach an increase of 1,000-1,200 g per day (Ober and Koller, 1996).

For smaller stocks of bulls, i. e., up to 20 animals, dung systems with litter still are used. They are the deep litter house and the two-room loose house. The floor profiles of both are simple, which causes less investment for building demand than with slurry systems. On the other hand, the costs for harvesting the straw and its storage must be considered (Boxberger et al., 1994).

Nowadays, in fattening bull houses the slurry system has established itself to an even greater extent than in cowsheds. Without exception they are built in two rows with fully slatted floor and with animal to feeding ratio of 1:1 (which means that all animals can eat at the same time). The stalls are situated underneath the stalls.

By substituting the usual style of the stables, which normally are more or less square, with the so-called deep stables, the amount of stock can be expanded (Damm and Juli, 2001). But this means changing the animal to feeding ratio to the disadvantage of the animals. Today, if possible, a ratio of 1 to 2 is no longer exceeded.

A typical example of a modern fattening bull house with fully slatted floor and slurry cellar in two-rows was shown by Gartung and Uminski (2000). An increasing number of livestock and a declining number of workers have also led to the development of new keeping systems, where labour-saving and economic aspects have increasingly been taken into consideration.

Depending on the systems, a high degree of temporary or permanent animal adaptability is

Um sich für ein bestimmtes Flüssigmistsystem zu entscheiden, ist es zu allererst nötig, zu berechnen, wie groß die Menge des Flüssigmistes sein wird. Im Durchschnitt können 50 l pro Kuh und Tag angenommen werden. Das bedeutet, dass in einem Monat $30 \times 50 \text{ l} = 1.500 \text{ l} = 1,5 \text{ m}^3$ pro Kuh anfallen. In 4 Monaten entspricht dieses einem Volumen von 6 m^3 , und bei 6 Monaten Lagerzeit 9 m^3 pro Kuh. Zum Schluss ist diese Zahl mit der Anzahl der Tiere zu multiplizieren. Es sollte jedoch darauf hingewiesen werden, dass der geschätzte Betrag von Flüssigmist pro Tag von den unterschiedlichen Bedingungen des jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebes abhängt.

2.3.4 Haltung von Mastbullen

Beim Vergleich verschiedener Mastbullenställe werden die Schwerpunkte auf die Gewichtszunahme pro Tag, die Baukosten und die verbundene technische Ausrüstung, die Arbeitsbelastung und Fragen des Tierkomforts gelegt. Am Ende der Mastperiode sollten die Mastbullen tägliche Gewichtszunahmen von 1.000-1.200 g erreichen (Ober und Koller, 1996).

Für kleine Mastbullenbestände etwa bis zu 20 Tieren werden Systeme mit Einstreu genutzt. Es sind dies der Tieflaufstall und der zweiflächige Laufstall. Bei beiden sind die Bodenprofile einfach, was geringe Investitionen für das Gebäude im Gegensatz zu solchen mit Güllesystemen bedeutet. Auf der anderen Seite sind die Kosten für die Strohbergung und -lagerung zu berücksichtigen (Boxberger et al., 1994).

Heute haben sich Güllesysteme in Mastbullenställen noch stärker durchgesetzt als in Kuhställen. Ohne Ausnahme werden sie zweireihig mit Vollspaltenboden gebaut mit einem Tierfressplatzverhältnis von 1:1 (was bedeutet, dass alle Tiere gleichzeitig fressen können). Die Kanäle liegen unterhalb der Gebäude. Wenn man die normalerweise quadratischen Abteile durch rechteckige Abteile ersetzt, die so genannten Tiefbuchten, können die Tierbestände vergrößert werden (Damm und Juli, 2001). Allerdings bedeutet dies, das Tierfressplatzverhältnis zu ungunsten der Tiere zu verändern. Heute werden, wenn möglich, Verhältnisse von 1:2 nicht mehr überschritten.

Ein typisches Beispiel eines modernen Mastbullenstalls mit Vollspaltenboden und Güllekeller, in zwei Reihen angeordnet, wurde von Gartung und Uminski (2000) gezeigt. Wachsende Tierbestände und eine sich verringende Anzahl der Arbeitskräfte haben ebenso zur Entwicklung neuer Haltungssysteme geführt, wobei Arbeitssparen sowie ökonomische Aspekte zunehmend Bedeutung gewonnen haben.

In Abhängigkeit von dem gewählten System wird ein hohes Maß an zeitlich begrenzter oder permanenter Tieranpassung benötigt. Um die Tierfreundlichkeit zu

required. In order to ensure the animal's well-being, the environmental conditions have to be shaped in such a way that the natural limitations are not exceeded (Koch and Irps, 1985).

gewährleisten, müssen die Umweltbedingungen so gestaltet werden, dass sie die natürlichen Begrenzungen nicht überschreiten (Koch und Irps, 1985).

Querschnitt Section

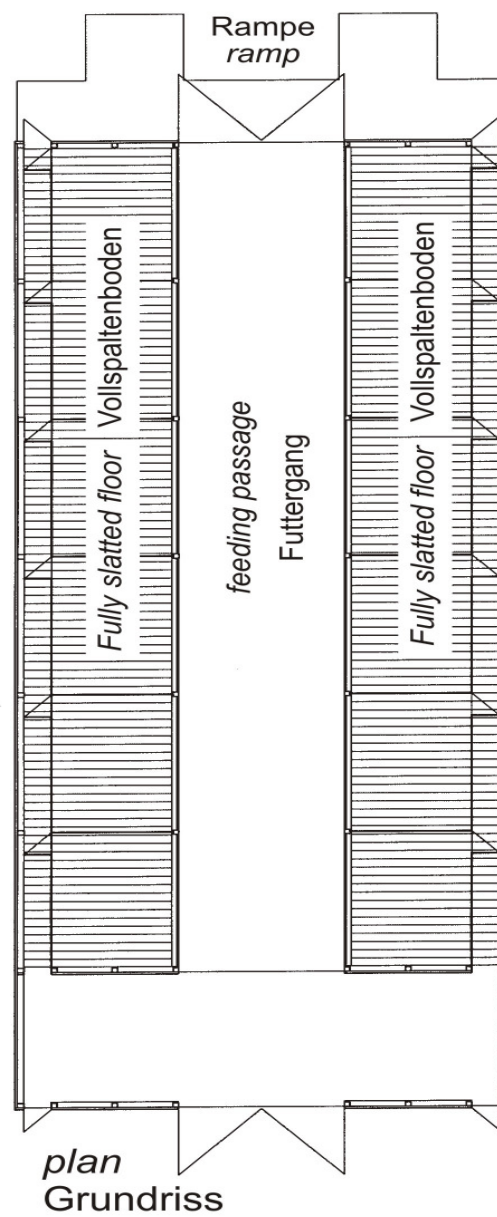


Abb. 12: Mastbullenhaltung auf Vollspaltenboden (Gartung et al., 2000)
Housing for fattening bulls on fully slatted floor (Gartung et al., 2000)

2.3.5 Animal housing for hens and chicken

For more than three decades, most of the laying hens in Europe are kept in cages. In Germany this was even 92.5 % in 1996. Meanwhile, new animal housing systems for hens were developed, which made it possible to adapt the demands of cheap agricultural production to the demands of animal welfare laws. At the same time, more eggs and chicken meat can be produced.

For the discussion of alternative systems, data concerning the different labours costs and animal output are needed, and in particular the building costs are important (Gartung and Knies, 1999).

Generally, chickens can be kept in cages, on the floor or in aviaries. In the case of floor keeping, the dung removal can either be done by tractor or by use of a conveyor belt. Aviary-systems need a conveyor belt and the same is true for keeping hens in cages.

The houses are built conventionally or with prefabricated parts with insulation. The optimum temperature in the house should range between +15 and +22 °C. When planning a new hen house the dung system should be considered first, because probably an expensive dung cellar or dung pit will be needed (Damm, 1991).

The ventilation in hen houses is of greatest importance. If the ventilation fails, for example from a lightning bolt, the hens will die because of lack of oxygen within a few hours. This is why only artificial ventilation is used in hen houses. The air outlets are built as rectangular chimneys or round tubes, which must reach 1.50 m higher than the ridge.

To avoid draughts, the air inlets should be situated under the ceiling. The recommended lowest air exchange rate in the summer period is 4.0 m³/h per animal at an air speed of between 0.30 and at maximum 0.50 m/s (Damm, 2001). In case of a breakdown of the electricity supply, an emergency power plant should definitively be provided.

On July 1999 the German Federal Constitutional Court decided that the Hen Husbandry Decree dated December 10, 1987, was null and void. Nearly at the same time, the new EC directive No. 199/74/EC was published, which sets minimum standards for the protection of laying hens. This directive says that "unenriched cages may no longer be used in the entire EU in both new and existing cages". Instead, all cages must be equipped with perches, laying nests and dust baths. This directive also sets a maximum stocking density of nine animals per m² of usable area, a minimum perch length of 15 cm and a maximum of 120 hens per m² of nest area (Krentler and Bockisch, 2002).

2.3.5 Haltung von Hühnern und Küken

Über drei Jahrzehntlang wurden die meisten Legehennen in Europa in Käfigen gehalten. In Deutschland waren das im Jahre 1996 sogar 92,5 %. Inzwischen wurden neue Stallsysteme entwickelt, bei denen es möglich ist, die Anforderungen des billigen Bauens und der Tiergerechtigkeit zu verbinden. Gleichzeitig können mehr Eier und Hühnerfleisch produziert werden.

Zur Diskussion alternativer Systeme werden Daten benötigt, die die verschiedenen Arbeitskosten und die Tierleistung betreffen, besonders die Baukosten sind dabei wichtig (Gartung und Knies, 1999).

Generell können Hühner in Käfigen, in Bodenhaltung oder in Volierenhaltung gehalten werden. Im Falle der Bodenhaltung kann die Dungräumung entweder mit dem Traktor oder durch ein Förderband erfolgen. Sowohl Voliersysteme als auch die Käfighaltung benötigen Förderbänder.

Die Ställe werden konventionell oder mit vorfabrizierten Teilen mit Isolierung gebaut. Die optimale Temperatur im Stall sollte zwischen +15 und +22 °C liegen. Beim Bau eines neuen Hühnerstalles sollte zu allererst das Entmistungssystem betrachtet werden, denn möglicherweise wird ein außerhalb liegender Mistkeller oder Behälter benötigt (Damm, 1991).

Die Belüftung ist von größter Bedeutung in Hühnerställen. Wenn die Belüftung versagt, z. B. durch einen Blitzschlag, werden die Hühner infolge von Sauerstoffmangel innerhalb weniger Stunden sterben. Aus diesem Grunde kann in Hühnerställen nur künstliche Belüftung eingesetzt werden. Die Luftaustritte werden als rechteckige Kanäle oder Rohre ausgeführt, die mindestens 1 m oberhalb des Firstes enden müssen.

Um Zugluft zu vermeiden, sollten die Lufteintritte unter der Decke angeordnet werden. Die empfohlene geringstmögliche Luftrate im Sommer beträgt 4,0 m³/h pro Tier bei einer Luftgeschwindigkeit zwischen 0,30 und maximal 0,50 m/s (Damm, 2001). Für den Fall des Zusammenbruchs des Stromnetzes sollte unbedingt eine Notstromversorgung vorgesehen werden.

Im Juli 1999 entschied das deutsche Bundesverfassungsgericht, dass das Hühnerhaltungsgesetz vom 10. Dezember 1987 null und nichtig sei. Fast zur gleichen Zeit wurde die neue EU-Direktive Nr. 199/74/EC veröffentlicht, die Minimalstandards für den Schutz von Legehennen festlegt. Diese neue Richtlinie sagt, dass "nicht verbesserte Käfige nicht länger in der gesamten EU sowohl bei Neubauten als auch bei bestehenden Gebäuden benutzt werden dürfen". Stattdessen müssen alle Käfige mit Sitzstangen, Legenestern und Staubbädern ausgestattet werden. Weiterhin setzt diese Richtlinie Maximalwerte fest für den maximalen Flächenbesatz pro m² Bodenfläche, eine Mindestsitz-

Aviaries are still considered a very sensible alternative for laying hen husbandry because they allow the natural needs of the hens to be fulfilled particularly well.

A general view of a modern hen house was given by Gartung and Knies (1999) for floor keeping of 3,000 hens with dung removal by tractor (see Fig. 13).

stangenlänge von 15 cm und maximal 120 Hennen pro m² Nestfläche. (Krentler und Bockisch, 2002).

Volierenhaltungen werden auch weiterhin als eine sehr gute Alternative für die Legehennenaufstallung betrachtet, weil sie die natürlichen Bedürfnisse der Hennen besonders gut erfüllen.

Ein beispielhafter Grundriss und Querschnitt eines modernen Hühnerstalles mit Bodenhaltung für 3.000 Hennen und Entmistung durch den Traktor wurde von Gartung und Knies (1999) vorgestellt (Abb. 13).

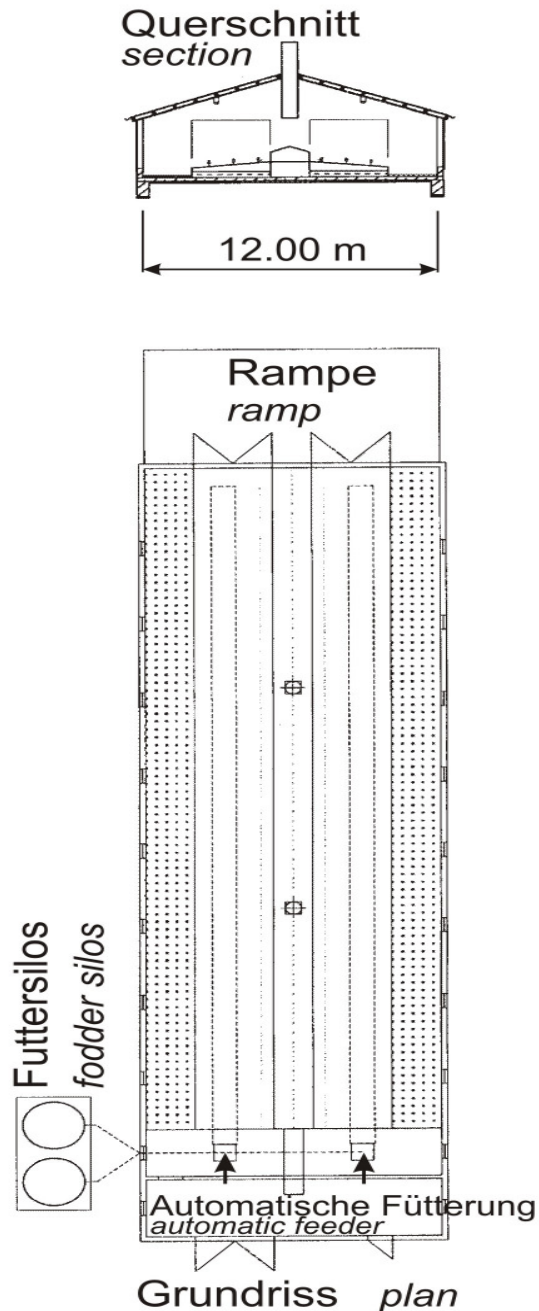


Abb. 13: Bodenhaltung von 3.000 Hühnern mit Schieberentmistung durch Traktor (Gartung und Knies, 1999)
 Floor keeping of 3,000 hens with dung removal by tractor (Gartung and Knies, 1999)

2.4 Construction for agriculture with concrete

Slurry installations have to fulfil high technical requirements. For the construction of slurry storages on farms, the building material concrete is used mainly. Design, shuttering, construction methods and the processing of ready-mixed concrete have been adapted to meet higher environmental requirements in recent years. A waterproof construction for stores in or above the ground requires a faultless constructional development of all parts to withstand the pressure of the effluent. Since no technical method of testing stores had been developed till now, planning and construction have to be adjusted to individual circumstances (Vonholt, 1985).

The first method of testing slurry storages will be shown and discussed in part II of this work (Experimental Part).

Modern animal housing without slurry systems is virtually unthinkable. To calculate the storage capacity needed, these data are acknowledged: 1.8 m³ per cow and month, 0.4 m³ for sows with piglets and 0.15 m³ per fattening pig (Budde, 1995). To some extent, high demands were placed on the building materials in agriculture. Therefore, knowledge of necessary relationships is required to avoid constructional errors. This statement is not related to the construction with concrete only, but for all other materials also (see chapter 5.4). Concrete parts can either be made from ready-mixed concrete, pre-cast concrete or concrete batches which are put together on the farm (Blöcker, 1985).

An experimental investigation was carried out by Talabani (1999) with a new array of cement additives, replacing some of the ones currently used. To obtain the optimum tightness of the concrete, final contraction in the cycle is critical for the blockage of gas migration. The major causes of early micro-fractures are the incomplete water-cement reaction, low compressive strength of the cement and a sudden change in the hydrostatic pressure. To eliminate the micro-fractures an addition of an optimum amount of synthetic rubber powder was proposed.

Blöcker (1984) dealt with how to order ready-mixed concrete. Some personnel on construction sites tend to add more water to ready-mixed concrete to make it smoothen, which makes the handling easier. This cannot be accepted, as the final concrete quality will not be strong enough.

Klose (1988) advised to observe carefully the handling of concrete on the construction site to avoid problems caused by improper work.

2.4 Bauen für die Landwirtschaft mit Beton

Das Bauen für die Güllelagerung hat hohe technische Anforderungen zu erfüllen. Für den Bau von Güllelagern auf landwirtschaftlichen Betrieben wird hauptsächlich das Material Beton eingesetzt. In den letzten Jahren wurden der Entwurf, die Konstruktionsmethoden und die Herstellungsmethoden von Fertigbeton neuen, höheren Anforderungen an die Umweltverträglichkeit angepasst. Der wasserdichte Bau von Lagern über Grund oder in den Grund eingesenkt verlangt die fehlerlose Konstruktion aller beteiligten Teile, um dem Wasserdruck standzuhalten. Da bisher keine Methoden entwickelt wurden, diese Lager zu prüfen, wurde die Planung und Konstruktion den bisherigen individuellen Umständen angepasst (Vonholt, 1985).

Die erste Methode solcher Testverfahren wird gezeigt und diskutiert im Teil 2 dieser Arbeit (experimenteller Teil).

Moderne Aufstellungsverfahren ohne Güllesysteme sind kaum denkbar. Um die benötigte Lagerkapazität zu berechnen, werden diese Daten allgemein anerkannt: 1,8 m³ pro Kuh und Monat, 0,4 m³ für Sauen mit Ferkel und 0,15 m³ pro Mastbulle (Budde, 1995). Bis zu einem gewissen Grade wurden hohe Anforderungen an die Baumaterialien in der Landwirtschaft gestellt. Um Konstruktionsfehler zu vermeiden ist daher die Kenntnis der nötigen Zusammenhänge erforderlich. Diese These gilt nicht nur für das Bauen mit Beton, sondern auch für alle anderen Materialien (s. Kapitel 5.4). Betonteile können entweder aus Fertigbeton, vorgefertigtem Beton oder aus Betonteilen hergestellt werden, die auf dem landwirtschaftlichen Betrieb zusammengefügt werden (Blöcker, 1985).

Eine experimentelle Untersuchung wurde von Talabani (1999) mit einem neuen Ansatz von Zuschlagstoffen gemacht, von denen einige die bisherigen ersetzten. Um die optimale Dichtheit des Betons zu erreichen, ist die Endfestigkeit nach dem Abbindevorgang die maßgebliche Größe für den Gasdurchgang. Hauptgründe für frühzeitig entstandene Risse waren unvollständige Wasser-Zement Reaktionen, niedrige Zementfestigkeit und plötzliche Veränderungen des hydrostatischen Drucks. Um Feinrisse auszuschließen, wurde der Zusatz von künstlichem Gummipulver vorgeschlagen.

Blöcker (1984) beschäftigte mit den Einzelheiten bei der Bestellung von Fertigbeton. Einige Bauarbeiter auf den Baustellen neigen dazu, dem Beton weiteres Wasser zuzumischen, um ihn schlanker zu machen. Das kann nicht akzeptiert werden, weil hierdurch die Endfestigkeit verringert wird.

Klose (1988) schlug vor, die Handhabung von Beton auf der Baustelle besser zu beobachten, um Probleme durch unsaubere Arbeitsweisen zu vermeiden.

Another approach to this problem was published by Kwiecinski et al. (1993) by the set-up of a computer program for the automation of the designing process of removal and agricultural utilisation of animal droppings.

The slatted floor is also part of the slurry system. The top of the slurry channels must be built absolutely level to make sure that the slatted floor are free of edges which may hurt the hooves of animals (Bauberatung Zement, 1995).

2.4.1 Construction of silos for ensilage and dung

For historical reasons, the animal stocks in Southern Germany are smaller, and in many cases animal waste systems with litter are used. The litter is stored on concrete plates with or without walls, for which the same regulations concerning environmental safety are in force as for the storage of slurry (Martens, 1993).

Brand (1990) states that concrete for silos for ensilage must be resistant to "heavy chemical attack" in particular. This is also necessary if the concrete surface is protected against the silage juice by painting or coating.

The German regulation dealing with the construction of silos for ensilage, DIN 11622, was launched in 1973. For environmental reasons it was renewed in 1993. Since then the trafficable silos for ensilage were also included (Martens, 1993).

Silos for ensilage are attacked chemically by the silage juice, physically by frost and mechanically by tractor and silage cutter. The experience up to now shows that the chemical attack is the worst (Klose, 1993). Dahms et al. (1993) gave a technical description on how to build silos for ensilage, which should consist of a ground plate, a sliding plastic layer and the carrying concrete layer of 12 cm thickness at least; with 15 cm preferable. The plate should have a pitch of 1.5 % towards an open cross gutter, which leads to a pre-pit, connected to the storage reservoir. The cross gutter can be poured on site or be of prefabricated concrete parts. The gutter should be 30 cm wide and 10 cm deep (Vonholt, 1990).

2.4.2 Construction of slurry channels and containers made of concrete

For the building of slurry cellars as well as for channels and containers, different systems for massive building are used, which to a certain extent allow "self-aid" (Do-it-yourself) (Blöcker, 1984). For outdoor storage other materials also are used, like plastic lined lagoons, wooden or steel containers,

Ein anderer Ansatz zu diesem Problem wurde durch Kwiecinski et al. (1993) mit dem Vorschlag eines Computerprogramms zur automatischen Planung von Entsorgung und Benutzung tierischer Exkremate veröffentlicht.

Der Spaltenboden ist ebenfalls Teil des Güllesystems. Die Oberkanten der Güllekanäle müssen absolut eben ausgeführt sein um sicher zu machen, dass der Spaltenboden ohne Kanten entsteht, die die Tierhufe verletzen könnten (Bauberatung Zement, 1995).

2.4.1 Bauen Silos für Siliergut und Festmist

Aus historischen Gründen sind die Tierbestände in Süddeutschland kleiner, und in vielen Fällen werden dort Systeme mit Einstreu genutzt. Der Mist wird auf Betonplatten mit oder ohne Wände gelagert, wofür die gleichen Regelungen die Umweltsicherheit betreffend in Kraft sind wie für die Lagerung von Flüssigmist (Martens, 1993). Brand (1990) stellt fest, dass der Beton für Fahrsilos besonders gegen schweren chemischen Angriff beständig sein muss. Dies ist auch nötig, wenn der Beton an seiner Oberfläche durch Anstrich oder Überzug geschützt ist.

Die deutsche Regelung über den Bau von Fahrsilos, DIN 11622, erschien im Jahre 1973. Aus Umweltschutzgründen wurde sie in 1993 überarbeitet. Seitdem sind Fahrsilos ebenfalls in diese Norm eingeschlossen (Martens, 1993).

Fahrsilos werden chemisch angegriffen durch den Sickersaft und physikalisch durch Frost sowie den Trecker und den Futterschneider. Die Erfahrung zeigt bis heute, dass der chemische Angriff dabei der schwierigste ist (Klose, 1993). Dahms et al. (1993) gaben eine technische Beschreibung über den Bau von Fahrsilos, die aus einer Bodenplatte, einer Gleitschicht aus Kunststoff und der tragenden Schicht aus mindestens 12 cm Beton - besser mit 15 cm Beton - bestehen sollte. Die Platte sollte ein Gefälle von 1,5 % in Richtung auf einen offenen Querkanal haben, der zu einer Vorgrube führt, die wiederum mit dem Lagerbehälter verbunden ist. Der Querkanal kann auf der Baustelle geschüttet werden oder auch vofabriert angeliefert werden. Dieser Kanal sollte 30 cm breit und 10 cm tief sein (Vonholt, 1990).

2.4.2 Bauen von Güllekanälen und Betonbehältern

Zum Bau von Güllekanälen sowie für Kanäle und Behälter in Massivbauweise gibt es verschiedene Systeme, die bis zu einem gewissen Grade Selbsthilfe (do it yourself) erlauben (Blöcker, 1984). Für die Lagerung außerhalb des Gebäudes sind auch andere Materialien im Gebrauch, wie mit Kunststoff ausgekleidete Erdbe-

which will not be considered here.

In any case a ground plate made of concrete is needed. The differences in the building of solid slurry containers emerge with the construction of the walls. The more prefabricated parts of the walls will be, the higher the material costs, but at the same time the labour decreases.

Concrete cladding stones are concrete blocks with hollow chambers. They serve as a cladding, which must be filled with waterproof concrete. According to DIN 1045 only the concrete will be considered for the static calculation. The reinforcement horizontally is laid into slits in the cladding stones, the vertical reinforcement goes through the centres of the chambers. To make these containers absolutely tight a plaster made of cement is needed (Reinhard, 1987).

A similar construction is the concrete double plate. These plates are 1.0-1.25 m wide and up to 2.50 m high. Since they are too heavy to handle manually, for their set-up a tractor with front hydraulic is needed. The labour demand for the set-up of such a container is estimated to 0.3 hours per m² (Witzel and Metzner, 1984).

In many European countries slurry systems are used. This was why an European study on the mainly used concrete systems for animal waste storages was carried out. Eight out of 12 countries declared the system with concrete poured directly at the construction site was used the most (Brand, 1987).

In Scandinavia the problems with slurry storage are mainly influenced by the long and cold winters. Generally, these countries tend to have longer storage periods of up to one year. In many cases the concrete channel between animal house and storage reservoir is replaced by underground tubes of sufficient diameters. These measures were recommended: pig sties 200-250 mm with a gradient of 1-2 %, cow houses 300-400 mm with 2.5-3.0 % gradient and fattening bull as well as young stock houses 300-400 mm with 3.0-3.5 % gradient (Boxberger, 1987).

Generally, the increasing demands for technical safety will lead to more control facilities, such as control drainage, control pits and double-slide valves (Seuffert, 1989).

The working group "Reinforced Concrete for Slurry Containers" pointed out, that the building of these containers must not only be made according to the rules, but inspections and control are also needed. The master builder carries the responsibility for this. He should see whether slits or other damages occurred at least once a year (Asmussen et al., 1988).

cken, auch Holz- oder Stahlbehälter, die hier nicht betrachtet werden sollen.

In jedem Fall wird eine Bodenplatte aus Stahlbeton benötigt. Die unterschiedlichen Konstruktionsweisen müssen mit dem Bau der Wände zusammenpassen. Je stärker die Wandteile vorfabriziert sind, umso höher steigen die Materialkosten, jedoch fallen gleichzeitig die Arbeitskosten.

Beton-Hohlblocksteine enthalten Kammern, die später mit Beton verfüllt werden können. Sie dienen als verlorene Schalung, die später mit wasserdichtem Beton gefüllt werden muss. Nach DIN 1045 wird nur der Beton für die statische Berechnung herangezogen. Die horizontale Bewehrung wird in Schlitzten in den Formsteinen verlegt, die vertikale Bewehrung geht durch die Mitte der Kammern. Um diese Behälter vollkommen abzudichten, wird ein Putz aus Zement benötigt (Reinhard, 1987). Eine ähnliche Konstruktion ist die Doppelplatte aus Beton. Diese Platten sind 1,0-1,25 m breit und bis zu 2,5 m hoch. Da sie zu schwer sind, um mit der Hand bewegt werden zu können, wird ein Traktor mit hydraulischem Frontlader benötigt, um diese Platten zu verlegen. Der Arbeitsbedarf für das Aufstellen eines solchen Behälters wird mit 0,3 Stunden = 20 Minuten pro m² angenommen (Witzel und Metzner, 1984).

Gülesysteme werden in vielen europäischen Ländern benutzt. Aus diesem Grunde wurde eine europäische Untersuchung über die vorzugsweise genutzten Betonsysteme für die Lagerung von tierischen Exkrementen ausgeführt. Acht von 12 Ländern erklärten das System, bei dem der Beton direkt auf die Baustelle geschüttet wird, als am häufigsten eingesetzt (Brand, 1987).

In Skandinavien entstehen die meisten Probleme bei der Güllelagerung durch die langen und kalten Winter. Generell gibt es in diesen Ländern eine Tendenz in die Richtung von längeren Lagerzeiten bis hin zu einem Jahr. In vielen Fällen wird der Betonkanal zwischen Stall und Lagerbehälter durch unterirdische Rohre mit ausreichendem Querschnitt ersetzt. Dazu werden folgende Abmessungen empfohlen: Schweineställe 200-250 mm mit einem Gefälle von 1-2 %, Kuhställe 300-400 mm mit 2,5-3,0 % Gefälle und Mastbullenställe sowie auch Jungviehställe 300-400 mm mit 3,0-3,5 % Gefälle (Boxberger, 1987).

Allgemein werden die ansteigenden Anforderungen in Sachen technischer Sicherheit zu mehr Kontrolleinrichtungen führen, wie z. B. Kontrolldrainage, Kontrollgruben sowie doppelte Ventile (Seuffert, 1989).

Die Arbeitsgruppe "Bewährter Beton für Güllebehälter" stellte heraus, dass diese Bauwerke nicht nur entsprechend den Regeln der Kunst hergestellt werden müssen, sondern es sind auch Prüfungen und Kontrollen gefragt. Der Bauherr trägt die volle Verantwortung hierfür. Er sollte nachprüfen und feststellen, ob Spal-

Klose (1994) tried to find out, how long slurry containers made of concrete may stand. He was able to prove that durability will be reached by quality. It was not possible to decide the durability measured in years, as all properly built containers are still in use.

When emptying slurry containers, in many cases a rest of between 5 and 15 cm remains, as the pump cannot get it. This is why Ebeling and Lohmeyer (1996) proposed building a concrete deepening of 100 by 100 cm, 50 cm deep in all ground plates. For the well-functioning of a slurry container only very robust pumps should be used to avoid repairs (Kowalewski, 1991).

2.5 Emission from slurry and its limitation

Through generally heightened environmental consciousness, public interest on possible emissions from agriculture has increased. Emissions can cause material inputs in other ecological systems through their passage through the atmosphere and have an acidic or eutrophying effect, leading to undesirable influences.

New research

In order to undertake an overall political estimate of the situation, the German Ministry for Consumer Protection, Nutrition and Agriculture (BMVEL) has awarded a research project to the German Federal Agricultural Research Centre (FAL), the Institute for Agricultural Engineering in Bornim (ATB) and the Curatorium for Technology and Construction in Agriculture (KTBL). The final report "Adaptation of the German method and Prognosis for Ammonia Emission from the German Agriculture and Scenarios to reduce them by 2010" is almost complete, the German Ministry is planning to derive national recommendations for the reduction of ammonia emissions from this report.

Political instruments

The government has a variety of tools already at its disposal, some of which have already been implemented:

- Subventions
- Premiums
- Instructional courses
- Mandates and prohibitions

In all German federal states, a series of different measures for the reduction of ammonia emissions has been used since about 1990. These dealt with

ten oder andere Beschädigungen auftreten, und zwar sollte diese Kontrolle mindestens einmal pro Jahr stattfinden (Asmussen et al., 1988).

Klose (1994) versuchte herauszufinden, wie lange Güllebehälter aus Beton haltbar wären. Er konnte beweisen, dass die Dauerstandfestigkeit durch gute Qualität der Herstellung garantiert werden kann. Es konnte nicht entschieden werden, wie lange die Dauerstandfestigkeit in Jahren ist, da alle korrekt gebauten Behälter noch in Benutzung sind.

Beim Entleeren von Güllelagern wird in vielen Fällen ein Rest von 5-15 cm³ zurückbleiben, da die Pumpe diesen nicht erreichen kann. Aus diesem Grunde schlugen Ebeling und Lohmeyer (1996) das Anlegen von Betonvertiefungen von 100x100 cm Querschnitt und 50 cm Tiefe in allen Bodenplatten vor. Für das zuverlässige Funktionieren von Güllebehältern sollten nur sehr robuste Pumpen eingesetzt werden, um Reparaturen zu vermeiden (Kowalewski, 1991).

2.5 Emissionen aus Gülle und deren Begrenzung

Im Zuge der Schärfung des allgemeinen Bewusstseins in Umweltfragen hat sich auch das öffentliche Interesse an möglichen Emissionen aus der Landwirtschaft verstärkt. Emissionen können zu Einträgen in andere ökologische Systeme führen, wobei der Transport durch die Atmosphäre saueren oder eutrophierenden Effekt haben kann, was zu unerwünschten Einflüssen führt.

Neuere Forschungen

Zum Zwecke der allgemeinen Übersicht aus Sicht der Politik über die derzeitige Situation wurde vom deutschen Landwirtschaftsministerium (BMVEL) ein Forschungsprojekt an die Deutsche Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), an das Institut für Landtechnik in Bornim (ATB) und das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) vergeben. Der Abschlussbericht „Anpassung der deutschen Methoden und Prognosen für Ammoniak-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft und Szenarien um die Emissionen bis zum Jahre 2010 zu vermindern“ ist fast beendet. Das Ministerium plant hieraus nationale Empfehlungen für die Reduktion von Ammoniak-Emissionen abzuleiten.

Politische Werkzeuge

Die Regierung hat bereits eine Vielzahl von Werkzeugen zur Verfügung, von denen einige bereits angewendet wurden:

- Subventionen
- Prämien
- Lehrgänge
- Anweisungen und Verbote.

In allen deutschen Bundesländern sind bereits verschiedene Maßnahmen für die Verminderung von Ammoniak-Emissionen seit 1990 in Gebrauch. Diese

the storage capacity of slurry containers, with their coverings, with the distribution of slurry, the drafting of laws for the handling of slurry, courses of instruction in both theory and practice as well as the development of information materials.

On the one hand, an environmental risk may occur by direct runoff of slurry into surface water and groundwater because of leakage from the container or from application at the wrong time. On the other hand, gas emissions of ammonium, methane and to a smaller amount also H_2S can affect the atmosphere and the plants.

Another risk for humans and animals is strong the slurry underneath slatted floors, as gas concentrations may become too high from too little air exchange (Ackermann et al. 1999). This is why in Germany the "Order on how to keep pigs in houses" (*Schweinehaltungsverordnung*) was passed in 1994. It says that the maximum concentration allowed is 20 ppm of ammonium.

Two other regulations deal with the distance between animal houses and the surrounding dwelling houses. They are "Minimisation of emissions – Hens" (*Tierhaltung – Hühner*, VDI 3472) and "Minimisation of emissions – Pigs" (*Tierhaltung – Schweine*, VDI 3471).

Generally, the current requirements are a slurry storage capacity for at least six months, in the case of fattening pigs, sometimes even for nine months. In terms of the reduction of emissions, significant effectiveness through the use of storage coverings shows great promise.

A general requirement in Switzerland is to apply slurry only when the conditions in soil and the weather permit (Bundesamt für Landwirtschaft, Bern/Schweiz 1996). Another Swiss proposal for the reduction of emissions is to use "integrated production", which means a recycling system (Haeni et al. 1990). Ellis et al. (1998) worked on the denitrification and N_2O -emissions from a UK pasture. They found that the application of cattle slurry in early spring worked best.

Another proposal by Walter (1994) is to reduce emissions by diluting slurry with water. If there is enough water, one m^3 of mixture will only contain between 1 and 1.5 kg of ammonium. Skjelhaugen (1992) from Norway tried an aerobic treatment in a liquid composting unit consisting of a newly designed aerator and a specially adjusted insulated and closed $10\text{-}m^3$ -tank. The result was that the produced slurry met an acceptable level of hygiene. The Institute of Agricultural Engineering in Gießen/Germany added formaldehyde and H_2O_2 to slurry, with positive results.

betreffen die Lagerkapazität von Güllelagern, ihren Abdeckungen, die Verteilung der Gülle, den Erlass von Gesetzen über die Handhabung von Gülle und Lehrgänge in Theorie und Praxis sowie auch mit der Entwicklung von Informationsmaterial.

Auf der einen Seite kann ein Umweltrisiko dadurch entstehen, dass die Gülle direkt in das Oberflächenwasser und damit in das Grundwasser gelangt, z. B. durch ein Leck im Container oder durch die Gülleausbringung zur falschen Zeit. Auf der anderen Seite können Emissionen von Ammoniak, Methan oder in einem kleineren Umfang auch H_2S die Atmosphäre und die Pflanzen beeinträchtigen.

Ein anderes Risiko für Mensch und Tier kann durch die Güllelagerung unter Spaltenboden auftreten, wenn die Gaskonzentrationen durch zu wenig Luftbewegung zu hoch werden (Ackermann et al., 1999). Aus diesem Grunde wurde in Deutschland im Jahre 1994 die Schweinehaltungsverordnung erlassen. Darin heißt es, dass die höchste erlaubte Konzentration 20 ppm Ammoniak betragen soll.

Zwei andere Regelungen befassen sich mit der Entfernung zwischen Stallgebäuden und umgebender Wohnbebauung. Das sind die "Verminderung von Emissionen aus Tierhaltung – Hühner, VDI 3472" und "Verminderung von Emissionen aus Tierhaltung – Schweine, VDI 3471".

Generell lautet die aktuelle Forderung, dass Güllelagerkapazität für mindestens 6 Monate vorhanden sein muss, im Falle der Schweinehaltung werden jedoch manchmal bis zu 9 Monate verlangt. Um die Reduzierung der Emissionen zu fördern, verspricht man sich bedeutende Effekte durch die Abdeckung der Lager.

Eine in der Schweiz gültige allgemeine Anforderung ist, Gülle nur dann auszubringen, wenn die Bedingungen in Boden und Wasser dieses erlaubt (Bundesamt für Landwirtschaft, Bern/Schweiz, 1996). Ein anderer Vorschlag aus der Schweiz zur Reduktion von Emissionen ist die „integrierte Produktion“, was ein Recycling-system meint (Haeni et al., 1990). Ellis et al. (1998) arbeiteten über die Denitrifizierung und N_2O -Emissionen von einer Weide im Vereinigten Königreich. Sie fanden, dass die Gabe von Rindergülle im sehr frühen Frühjahr am besten wirkt.

Ein anderer Vorschlag von Walter (1994) lautet, die Emissionen durch Hinzufügen von Wasser zu reduzieren. Wenn genug Wasser vorhanden ist, wird 1 m^3 der Mischung nur zwischen 1 und 1,5 kg Ammoniak enthalten. Skjelhaugen (1992) versuchte in Norwegen die aerobische Behandlung von Flüssigmist mit einem neu entwickelten Aerator und nutzte dafür einen wärme gedämmten geschlossenen $10\text{-}m^3$ -Tank. Das Ergebnis war, dass die so produzierte Gülle ein akzeptables Maß von Hygiene aufwies. Das Institut für Landtechnik in Gießen/Deutschland fügte Formaldehyd und

A very severe problem is the possibility of deadly accidents with emissions of slurry. Mattig (1985) stated that even small amounts of emissions can be deadly for humans and animals also. The evaluation of accidents by Hammer (1983) showed that farmers very often underestimate the danger. This is why the accident prevention regulations must absolutely be fulfilled. These regulations mainly deal with ventilation when slurry is homogenised. A study by Diekmann and Mannebeck (1983) showed 48 accidents in Northern Germany alone.

Hus (1992) dealt with accidents in poultry and pig farming and found that many accidents could have been avoided by correct use of tools. An attempt by Schweizer and Seuffert (1983) was to reduce pig odour by oxidation. A South Korean proposal by Soo et al. (1998) was to treat pig waste water by a modified activated sludge process using autoclaved lightweight concrete as a contact media. The purification process decreased biochemical oxygen demand, total N and total P by 97.0 and 96.8 %, respectively.

Scholten (1990) measured the ammonia emission in ventilated animal houses and found very difficult to decide what the total amount of emissions really is. Similar measurements were made by Steffens, Kasink and Lorenz (1990) dealing with ammonia release from liquid manure storage tanks and after application with different slurry additives. In order that liquid manure smells less foul, Ratschow (1982, 1994) proposed using bio-filters. His tests showed that technically they work, but for practical farming they would be too expensive.

A special assessment of the sewage-treatment plant of swine manure and environment protection was made by Kluczek (1985). The plant process consists of mechanical cleaning on vibrating screens, chemical purification of pre-aerated manure by coagulation with aluminium sulphate, biological treatment by the activated sludge method in the aeration tanks and biological treatment with bio-filters. Purified waste is then released into a river.

The manure was analysed for bacterial flora and biogenic compounds at the various stages. Treated manure was found to contain a large number of biogenic compounds and pathogenic bacteria.

There are various products on the market to be added to slurry for the reduction of odours. Huebener (1984) found difficult to prove that they really work. As these products are quite expensive, a question arises of whether to use them.

Another proposal to reduce odours by Budde (1984a) is the transporting of liquid manure. But of course, slurry is very heavy. A modern 4-wheel slurry tanker can weigh between 20 and 30 tons.

H₂O₂ der Gülle zu, mit ebenfalls positiven Ergebnissen. Ein sehr schwer wiegendes Problem ist die Möglichkeit tödlicher Unfälle durch Gülle. Mattig (1985) stellte fest, dass selbst kleine Mengen schon für Menschen und Tiere tödlich sein können. Die Erforschung dieser Unfälle durch Hammer (1983) zeigte, dass die Landwirte diese Gefahr sehr oft unterschätzen. Aus diesem Grunde wurden Vorschriften zur Unfallverhütung erlassen, die absolut einzuhalten sind. Diese Vorschriften befassen sich hauptsächlich mit der Lüftung während des Homogenisierens. Diekmann und Mannebeck (1983) werteten in einer Studie allein in Norddeutschland 48 Unfälle aus.

Hus (1992) befasste sich mit Unfällen in Hühnerhaltungen und Schweinehaltungen und fand, dass sich viele Unfälle durch korrekten Gebrauch der Werkzeuge hätten vermeiden lassen. Ein Ansatz von Schweizer und Seuffert (1983) war, den Schweinegeruch durch Oxidation zu vermindern. Ein südkoreanischer Vorschlag bei Soo et al. (1998) war, die Schweinegülle durch einen speziellen Autoklaven in Leichtbeton als Kontaktmedium zu nutzen. Der Reinigungsprozess verminderte die Notwendigkeit biochemischer Anforderungen, es ergab sich ein Stickstoff- und ein Phosphorgehalt von 97,0 und 96,8 %.

Scholten (1990) maß die Ammoniak-Emissionen in künstlich belüfteten Ställen und fand es sehr schwierig zu entscheiden, wie hoch die vollständigen Verluste tatsächlich sind. Ähnliche Messungen wurden durch Steffens, Kasink und Lorenz (1990) durchgeführt, wobei die Ammoniakfreisetzungen aus einem Flüssigmisttank und nach Ausbringung auf das Feld zusammen mit verschiedenen Gülleadditiven gemessen wurden. Da nun einmal Flüssigmist nicht gut riecht, schlug Ratschow (1982, 1994) den Gebrauch von Biofiltern vor. Seine Versuche zeigten, dass dieses zwar technisch geht, für den praktischen Betrieb jedoch zu teuer wäre.

Spezielle Messungen an der Reinigungseinheit eines Schweinestalls mit Blick auf Umweltschutz wurden durch Kluczek (1985) durchgeführt. Dieser pflanzliche Prozess besteht aus mechanischer Reinigung durch vibrierende Siebe, chemische Reinigung durch Vorbelüftung und Koagulation mit Aluminiumsulfat, biologischer Behandlung der aktivierten Gülle in Belüftungstanks und biologischer Behandlung mit Biofiltern. Das gereinigte Wasser konnte dann in einen Fluss abgelassen werden.

Zu verschiedenen Zeitpunkten wurde der Dung analysiert in Bezug auf die Bakteriengehalte und auf biogene Bestandteile. Bei der Behandlung der Gülle wurde eine Anzahl biogener Komponenten und pathogener Bakterien gefunden.

Es sind bereits verschiedene Produkte auf dem Markt, die der Gülle zur Reduzierung ihres Geruchs beige-

That is why in the southern federal states of the USA, slurry is processed by separators. The effluent is used for irrigation, the solids are sold. Customers of these solids are either farmers with plant production or companies which produce fertilisers by mixing different ingredients for special purposes like mushroom production.

Research on three aspects of ammonia emissions from housing for dairy cows and fattening pigs were described by Oosthoek et al. (1991). For dairy cows the emission was measured from cubicle houses with a slurry cellar below the slatted floor. The emissions were measured in the winter and later when the cows were housed only at night. Emissions were measured from the cellar, from slatted floor and from concrete floors.

Floor washing was compared with floor scraping. For fattening pigs the emission was measured from three slurry systems: full and partial under-floor storage and separation of solids and urine under the slatted floor and on a sloping floor with outdoor storage, where the solids were removed twice a day by scraper. The relationship was studied between emissions from indoor slurry storage and the surface area of slurry, as well as the effect of the actual level of slurry. As a solution for the reduction of emissions Oosthoek et al. (1990a, 1990b, 1991) propose building the slurry channels with a small slope and a flushing system underneath the slatted floor.

The handling and use of raw cattle slurry can cause both environmental and health problems. According to Skjelhaugen and Donantoni (1998) these may be solved by improving its physical, chemical and biological characteristics. As the slurry usually needs to be stored for long periods before spreading, methods for improving its quality, combined with storage, were sought. In a test a total volume of 60 m³ of cattle slurry was aerated in a 10-m³-reactor and stored for 45 weeks in two covered concrete tanks, each of 30 m³ capacity. The slurry in one tank was exposed to an electrolytic treatment, while in the other no further treatment was given. In a third tank of similar design raw slurry was stored without any form of treatment.

The content of thermo-tolerant coliform bacteria (TCB) was reduced from 10⁴ TCB/g of slurry to below than 10² TCB/g during the seven days treatment in the aerobic reactor. No new TSB growth was detected during the following 45 weeks storage period. The electrolytic treatment seemed to ensure an effective destruction of pathogens. Raw slurry also achieved a reduction to 10² TCB/g after 23 weeks of storage.

mengt werden können. Huebener (1984) fand es schwierig zu beweisen, dass diese tatsächlich wirken. Da alle diese Produkte recht teuer sind stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist sie zu gebrauchen.

Ein anderer Vorschlag, die Gerüche zu reduzieren, kam von Budde (1984a), er beschäftigt sich mit dem Transport von Flüssigmist. Aber Gülle ist natürlich sehr schwer. Ein moderner Gülletanker mit 4 Rädern kann zwischen 20 und 30 Tonnen wiegen. Aus diesem Grunde wird in den südlichen Staaten der USA die Gülle grundsätzlich durch Separatoren geleitet. Die flüssige Phase wird dann zur Bewässerung genutzt, die Feststoffe werden verkauft. Kunden der Feststoffe sind entweder Farmer mit Pflanzenproduktion oder Firmen, die Fertigdünger durch Mixturen mit verschiedenen Inhaltsstoffen für verschiedene Zwecke, wie z.B. Pilzaufzucht, herstellen.

Forschungen über 3 Aspekte der Ammoniak-Emissionen von Milchviehställen wurden durch Oosthoek et al. (1991) ausgeführt. Die Emissionen wurden in einem Laufstall für Kühe mit einem Güllekeller unter dem Spaltenboden gemessen. Die Emissionen wurden im Winter während einer Periode gemessen, in der sich die Kühe nur des Nachts im Gebäude befanden. Die Emissionen wurden direkt am Keller, oberhalb des Spaltenbodens und oberhalb der Betonlaufgänge gemessen.

Das Spülsystem wurde mit dem Dungräumgerät verglichen. Bei Mastschweinen wurden die Emissionen von 3 verschiedenen Güllesystemen gemessen: Voll- und Teilspaltenboden mit Lagerung darunter und Separation der Feststoffe und flüssigen Stoffe unter dem Spaltenboden sowie an einem Schrägmiststall, bei dem die Feststoffe 2x pro Tag mit dem Dungräumgerät entfernt wurden. Es wurde das Verhältnis zwischen Emissionen aus Lagerung im Gebäude und der Oberfläche über der Gülle studiert, ebenso der Effekt des aktuellen Güllestandes. Als Lösungsvorschlag für die Verminderung der Emissionen schlagen Oosthoek et al. (1990a, 1990b, 1991) den Bau von Güllekanälen mit flachem Gefälle und einem Spülsystem unterhalb des Spaltenbodens vor.

Der Umgang und die Ausbringung von roher Rindergülle kann sowohl Umwelt- als auch Gesundheitsprobleme verursachen. Nach Skelhaugen und Donantoni (1998) könnte dieses durch Verbesserung der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Gülle verbessert werden. Da die Gülle lange Zeit vor dem Ausbringen gelagert werden muss, werden Methoden zur Verbesserung ihrer Qualität in Verbindung mit der Lagerung gesucht. In einem Vergleichsversuch mit insgesamt 60 m³ Rindergülle wurde ein 10 m³ Reaktor mit Belüftung verwendet, mit einer Lagerzeit von 45 Wochen in zwei abgedeckten Betonbehältern, mit je 30 m³ Kapazität. Die Gülle in dem

A similar test was made by Martyn (1991): Aerated slurry considerably reduced odour compared with raw slurry. Additional electrolytic treatment had a strong and immediate effect with almost no noticeable odour. After 45 weeks the total-N was equal in all treatments. Long term storage of raw cattle slurry did not solve odour or H₂S-problems, but killing pathogen was effective. Aerobic treatment produced a slurry with practically no TCB, low odour and low H₂S-emission, without losing nitrogen. Aerated slurry was suitable for long term storage. Additional electrolytic treatment of the aerated slurry reduced the pathogen, odour and H₂S-concentrations.

Another attempt to reduce ammonia emissions was made by using steel slatted floors. In cattle housing with concrete slatted floors, about 60 % of the ammonia emission originates from the slats and 40 % from the slurry surface in the under-floor storage. Urine may penetrate the concrete and then volatilise as ammonia. A considerable amount of solids and urine accumulate on the slats and enlarge the emitting surface. By using narrower slats and wider gaps the soiling of surfaces can be reduced. Kant (1996) found that a gap area of more than 50 % provides the cattle with insufficient support to move well.

The design of steel, anti-skid floor with sloping slats is proposed. Dung and urine are scraped underneath the slatted floor at intervals of 30 minutes. It was found that with steel slats the ammonia emission was 52 % less than with concrete slats.

In Switzerland new types of cow houses with one or more open walls were built during the last years. The slurry is stored in channels under the slatted floor. The emission of gases is reduced by the existing swimming layer of solids. Hazardous emissions of H₂S may occur when the slurry is homogenised before it is brought on fields (Nosal, 1997).

As in Germany we have strict regulations dealing with slurry (see chapter 2.0 and 2.1), Budde (1993) asked whether German farmers have trade competition disadvantages by the provided regulations on liquid manure. Today we can state that there is growing European harmonisation in this field.

einen Tank wurde elektrolytisch behandelt, während im Vergleichstank keine Belüftung stattfand. In einem dritten Tank ähnlicher Auslegung wurde Rohgülle ohne irgendeine Art der Behandlung gelagert. Der Gehalt von thermotoleranten Kolibakterien (TCB) wurde auf 10⁴ TCB/g Gülle auf 10² TCB/g während einer Dauer von 7 Tagen Behandlung im aerobischen Reaktor vermindert. Um neues TSB Wachstum festzustellen, wurde weitere 45 Wochen gelagert. Es scheint, dass die elektrolytische Behandlung eine zuverlässige Zerstörung der Pathogene bewirkt. Rohgülle erfuhr ebenfalls eine Reduktion auf 10² TCB/g nach 23 Wochen Lagerzeit.

Ein ähnlicher Test wurde von Martyn (1991) durchgeführt: belüftete Gülle verminderte ihren Geruch erheblich im Vergleich zu Rohgülle. Zusätzliche elektrolytische Behandlung hatte einen starken und sofortigen Effekt, so dass am Ende kaum wahrnehmbarer Geruch verblieb. Nach 45 Wochen Lagerzeit war der Stickstoffanteil in allen diesen Behältern gleich. Die Langzeitlagerung von Rindergülle löste zwar nicht das H₂S-Problem, jedoch war das Abtöten von Pathogenen effektiv. Belüftung erzeugte eine Gülle praktisch ohne TCB, bei geringer Geruchsbelastung und geringeren H₂S-Emissionen, ohne dass Stickstoff verloren ging. Belüftete Gülle war für die Langzeitlagerung geeignet. Zusätzliche elektrolytische Behandlung der belüfteten Gülle reduzierte die Pathogene, den Geruch und die H₂S-Konzentration.

Ein anderer Ansatz, Ammoniak-Emissionen zu vermindern, wurde durch den Einsatz von Spaltenböden aus Stahl unternommen. In der Rinderhaltung auf Betonspaltenböden kommen etwa 60 % der Ammoniak-Emissionen durch die Spalten und 40 % direkt von der Gülleoberfläche in einer Unterstelllagerung. Urin kann in den Beton eindringen und sich dann als Ammoniak verflüchtigen. Ein beträchtlicher Teil von Feststoffen und Urin sammelt sich auf dem Spaltenboden und vergrößert damit die emittierende Fläche. Durch den Gebrauch engerer Schlitze und weiterer Abstände konnte der Einfluss der festen Fläche vermindert werden. Kant (1996) fand, dass ein Schlitzbereich von mehr als 50 % die Rinder in ihrer Bewegung behindert.

Er schlägt den Bau von Spaltenböden aus Stahl mit leichtem Gefälle vor. Dung und Urin werden unterhalb des Spaltenbodens durch ein Räumgerät alle 30 Minuten geräumt. Er fand, dass die Ammoniak-Emissionen unter dem Stahlspaltenboden um 52 % geringer lagen als diejenigen unter Betonspaltenböden.

In der Schweiz wurden in den letzten Jahren neue Typen von Kuhställen mit mehr oder weniger offenen Wänden gebaut. Die Gülle wurde in Kanälen unter dem Spaltenboden gelagert. Die Gas-Emissionen werden durch die selbst aufbauende Schwimmschicht aus

2.5.1 General information on the construction of slurry storage containers with reference to covers

In the past, liquid manure was mostly stored in the stable's cellar with a circulation system. This could take place either under partially slatted floors or under fully slatted floors. Due to the increasing amount of storage space needed, a trend to external storage has become evident for several years.

In the storage of liquid manure, biological deterioration processes of the organic components take place, and the slurry separates from the mixture. When the mixture is stirred, carbon dioxide, ammonia and hydrogen sulphide are emitted. These gases can, under extreme circumstances, have fatal consequences. This fact also supports the preference of external storage which does not need to be ventilated in the stables. Generally, the following container forms are available: open underground containers, covered underground containers, above ground containers without an additional pit, and above ground containers with a pit (both of which are partially set into the ground, and plastic lined soil containers).

2.5.2 The construction materials for slurry storage

In Germany the following materials are used:

- monolithic steel cement containers
- steel cement containers made of pre-fabricated parts
- containers of pressed wood on steel cement soil plates
- coated steel plates of various profiles on steel cement soil plates
- Plastic lined soil lagoons

The choice of materials for a container covering is generally influenced by which materials were chosen for the container, It would certainly not be economically sensible to cover a large, flat soil tank with a concrete platter. There could also be problems with the hooking up of the plate.

Feststoffen verringert. Gefährliche Emissionen von H₂S können auftreten, wenn die Gülle gerade homogenisiert wird bevor sie ausgebracht wird (Nosal, 1997). Da es in Deutschland sehr strikte Regelungen über den Umgang mit Gülle gibt (s. Kapitel 2.0 und 2.1), stellt Budde (1993) die Frage, ob deutsche Landwirte Wettbewerbsnachteile durch die hier vorgesehenen Regelungen über Flüssigmist haben. Heute kann festgestellt werden, dass in der Europäischen Union wachsende Harmonisierung auf diesem Gebiet stattfindet.

2.5.1 Allgemeines zum Bau von Güllebehältern mit Bezug auf ihre Abdeckung

In der Vergangenheit wurden Flüssigmistlager zu meist als Güllekeller mit einem Zirkulationssystem gebaut. Dies konnte entweder unter Teilspaltenboden oder unter Vollspaltenboden geschehen. Als Folge der wachsenden Anforderungen an die Lagerzeiten ist ein Trend zur Außenlagerung bereits seit Jahren zu erkennen.

Bei der Lagerung von Flüssigmist können biologische Abbauprozesse in den organischen Bestandteilen stattfinden, und die Gülle entmischt sich. Wenn die Gülle aufgerührt wird, werden Stickoxyde, Ammoniak und Sulfide emittiert. Unter extremen Umständen können diese Gase tödliche Folgen haben. Diese Tatsache unterstützt ebenfalls die Bevorzugung von Außenlagerung, so dass in den Ställen nicht beim Homogenisieren gelüftet werden muss. Allgemein gibt es folgende Behälterformen: offene Behälter in den Boden eingelassen, abgedeckte Übergrundbehälter mit einer Vorgrube und Überbodenbehälter mit Vorgrube (beide können auch teilweise in den Boden eingeschnitten werden) und mit Kunststoff ausgekleidete Erdbecken.

2.5.2 Baumaterialien für Güllelager

In Deutschland werden folgende Materialien eingesetzt:

- monolithische Behälter aus Stahlbeton,
- Stahlbetonbehälter aus vorfabrizierten Teilen,
- Behälter aus gepressten Holzbohlen auf einer Stahlbetonbodenplatte,
- beschichtete Stahlplatten mit verschiedenen Profilen auf Stahlbetonbodenplatte,
- mit Kunststoff ausgekleidete Erdbecken.

Die Auswahl des Materials für einen Behälter wird sehr stark beeinflusst durch das Material, das für die Abdeckung gewählt wird. Es kann natürlich nicht wirtschaftlich sein einen Behälter abzudecken, wenn der Behälter z. B. sehr flach gebaut ist. Außerdem könnte es Probleme mit der Verbindung der Abdeckung mit dem Behälter geben.

2.5.3 Covering of slurry tanks

2.5.3.1 Floating covers

When slurry is removed a floating layer emerges which in itself leads to a significant reduction of emissions. Fig. 14 shows the floating layer of a slurry container in the FAL Biogas Facility. A model type two stage slurry storage container at the University of Florida, which was scientifically accompanied by the FAL, showed after just several weeks of use such a thick growth from flying sand and seeds on the floating layer, that hardly any odours could be detected (Krentler 1999).

Another possibility for a floating covering exists in the addition of finely-chopped straw or Perlite as a filler. The danger here is that a portion of this layer can be blown away if the wind is strong, or can be pushed aside. Also, a small portion of under ten percent could sink into the liquid which would make the subsequent homogenisation difficult. Proponents of this method recommend refilling the layer with ten percent once a year.



Abb. 14: Schwimmende Abdeckung auf Kunststoff-Erdbecken
Natural swimming layer from cattle slurry solids in a bio-gas plant

Of particular interest are the floating covers for large area plastic lined slurry lagoons. These lagoons of sealed plastic tracts have a long life, they neither rot nor deteriorate (which is possible in the case of wood silos, they don't rust, which can happen if the surface of steel containers are scratched, and they experience no cracks (as possible with concrete). In

2.5.3 Abdeckungen für Güllebehälter

2.5.3.1 Schwimmende Abdeckungen

Wenn Gülle gelagert wird, bildet sich eine Schwimmschicht, die bereits zu einer signifikanten Verminderung der Emissionen führt. Abb. 14 zeigt die schwimmende Abdeckung eines Güllebehälters in der Biogasanlage der FAL. Eine beispielhafte Anlage zur Güllelagerung der Universität von Florida, die wissenschaftlich durch die FAL begleitet wurde, zeigte bereits nach wenigen Wochen, dass sich eine dicke Pflanzenschicht auf dieser Schicht aus Feststoffen gebildet hatte, wobei Sand und Samen durch den Wind herbeitransportiert worden waren; es konnte kaum noch ein Geruch aus dieser Anlage festgestellt werden (Krentler, 1999). Eine andere Möglichkeit schwimmender Abdeckungen besteht im Zusatz von fein gehacktem Stroh oder Perlite als Schwimmschicht. Die Gefahr hierbei ist, dass ein Teil dieser Schicht durch den Wind abgeblasen oder auch beiseite gedrückt werden kann. Ebenfalls dürfte ein kleiner Anteil von unter 10 % in der Flüssigkeit versinken, was das Homogenisieren wesentlich erschwert. Befürworter dieser Methode empfehlen daher das Auffüllen von etwa 10 % pro Jahr.

Die Abdeckung großflächiger mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken ist von besonderem Interesse. Diese Behälter aus zusammengeschweißten Kunststoffstreifen sind langlebig, sie verrotten nicht und vergehen auch nicht (was allerdings möglich wäre im Fall von Holzwandbehältern), sie rosten nicht (was bei Stahlbehältern der Fall sein kann), und sie entwickeln kei-

the case of mechanical damage, they can be welded together with a patch of the same material. The cover is made from the same material, just somewhat thinner (0.8 to 2.0 mm). The fastening can either take place with a steel belt welded onto the rim, which is fastened to the posts, or the edge is simply buried into the ground.

A short time ago, two test slurry lagoons of this type were taken out of the ground at the testing station of the FAL after 17 years of use (originally planned were 15 years). It could be seen that no deterioration processes had taken place or either the buried part of the foil covering, the storage container itself, nor at the leak recognition layer.

Specially formed 80 cm diameter conical-shaped bodies of Styrofoam at a distance of 3 m were used to prevent the cover from sinking into the container. These bodies were fastened to the cover with special dowels. Fig. 15 shows such a slurry container with covering from a well-known German manufacturer.

ne Schlitz (wie das bei Beton möglich ist). Im Fall einer mechanischen Beschädigung können sie wieder zusammengeschweißt werden durch Aufbringen eines Flickens aus dem gleichen Material. Die Abdeckung wird auch aus dem gleichen Material hergestellt, jedoch sind diese Schichten dünner (0,8-2,0 mm). Die Befestigung kann durch ein Stahlband erfolgen, das in den oberen Rand eingeschweißt wird, oder an Pfählen befestigt werden, oder der Rand wird einfach in den Boden eingegraben.

Vor kurzem wurden Versuchsbehälter dieser Bauart in der FAL nach 17 Jahren Nutzung ausgebaut (ursprünglich waren hierfür 15 Jahre Nutzungsdauer geplant gewesen). Man konnte sehen, dass noch kein Vergang stattgefunden hatte, auch nicht an den eingegrabenen Teilen der Abdeckung, oder am Behälter selbst, auch war kein Leck zu erkennen.

Speziell geformte konische Styrofoamkörper mit 80 cm Durchmesser wurden in einem Abstand von 3 m angebracht um zu verhindern, dass die Abdeckung im Behälter versinkt. Diese Schwimmkörper wurden durch spezielle Verbinder mit der Abdeckung verschraubt. Abb. 15 zeigt einen solchen Güllebehälter mit Abdeckung, ausgeführt durch einen bekannten deutschen Hersteller.



Abb. 15: Natürliche Schwimmdecke auf Rindergülle in einer Biogasanlage
Floating cover on a plastic lined lagoon

Observations up to now have established that natural evaporation is adequate to prevent a negative effect of precipitation on such a covering. If the container is to be opened following heavy rains for homogenisation or distribution purposes, a normal vacuum pump is adequate to remove excess water.

It is also possible to put swimming covers in round containers made of concrete or metal. They use the same Styrofoam bodies. Fig. 16 shows a coated steel container with a capacity of 1,000 m³.

Bisher angestellte Beobachtungen über die natürliche Verdunstung des Regenwassers auf der Behälterdecke haben gezeigt, dass diese zur Entsorgung ausreicht. Wenn nach schwerem Regenfall ein Behälter zum Zwecke des Homogenisierens oder wegen der Gülleausbringung geöffnet werden muss, reicht eine normale Vakuumpumpe aus, um überschüssiges Wasser vorher abzupumpen.

Es ist auch möglich, schwimmende Abdeckungen in runde Behälter aus Stahlbeton oder Metall einzubrin-

gen. Diese benutzen die gleichen Styrofoamkörper wie oben beschrieben. Abb. 16 zeigt einen Behälter aus beschichtetem Stahl mit einer Kapazität von 1.000 m³.



Abb. 16: Schwimmende Kunststoffdecke auf rundem Stahlbehälter für Gülle
Plastic swimming layer on a round steel container for slurry

The border of this cover is shaped like a rubber tube. The autumn leaves still are lying on top of the cover, it is not possible to walk there for removal. Winter winds will blow them away. The agricultural newspaper "*Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*" (1995) reported on positive experiences on the cover of slurry silos with short cut straw as a layer against emissions.

Bode (1990) made a comparison of ammonia emissions in different liquid manure storage systems. He found that the building of a dense swimming layer on top of a slurry container can be considerably supported by adding 4-7.5 kg of short cut straw. This reduced the emissions to 60-70 %.

Fricke (1991) proposed swimming covers on slurry containers, made as a plastic layer, as a low cost and well-functioning solution

Matysiak (1992) made investigations concerning sedimentation in liquid manure storages from industrial cattle and pig farms. The tests were performed in a laboratory scale. It has been found that with application by this method, sediments with a dry matter content of 25 % or more can be obtained in a simple and cheap way. This method can also be applied in newly built farms and in livestock buildings as well as in modernisation. Straw can be replaced by such materials as potato haulms, peat, smoke-box silts, brown coal dust and other such wastes.

Der Rand dieser Abdeckung ist wie ein Gummischlauch geformt. Die Herbstblätter liegen noch auf der Oberfläche der Abdeckung, es ist jedoch nicht möglich, diese zum Zwecke des Abnehmens zu betreten. Die Winterwinde werden sie abblasen. Die landwirtschaftliche Zeitung "*Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*" (1995) berichtete über positive Erfahrungen mit einer Siloabdeckung aus kurzgehäckseltem Stroh gegen Emissionen.

Bode (1990) stellte einen Vergleich zwischen Ammoniak-Emissionen in verschiedenen Flüssigmistlager-systemen an. Er fand, dass die Ausbildung einer dichten Schwimmschicht wesentlich unterstützt werden kann durch Hinzufügen von 4-7,5 kg kurzgehäckseltem Stroh. Diese Schicht vermindert die Emissionen auf 60 bis 70 %. Fricke (1991) schlug schwimmende Abdeckungen auf Güllebehältern als billige und funktionsfähige Lösung aus Kunststoff vor.

Matysiak (1992) führte Forschungen aus über das Absinken von Sedimenten in Flüssigmistlagern aus industriellen Rindvieh- und Schweinebetrieben. Die Versuche wurden im Labormaßstab ausgeführt. Es wurde gefunden, dass bei Anwendung dieser Methode Sedimente mit einem Trockenmassegehalt von 25 % oder mehr auf einfache und billige Weise gewonnen werden können. Diese Methode kann in Neubauten wie auch bei Anbauten eingesetzt werden. Das Stroh kann auch durch andere Materialien ersetzt werden, wie Kartoffelstroh, Erbsenstroh, Räucherhammerzweige,

According to Ratschow (1982) the reduction of emissions by very simple covers is on an average about 90 % concerning the odours; the ammonia concentration will be reduced to about 80 %. A better result can be obtained by using tent-like covers on a centre pole or by building concrete cover plates. The state of art in this field in a comparison between the conditions in southern United States and Germany as described by Krentler (1999).

2.5.3.2 Permanent covers

Tautz and Westendarp (1994) compared the different options of covering slurry containers against odour emissions. They did not find the floating covers to be bad, but for long term use they propose the so-called "tent".

A similar discussion was made by Ratschow (1982). His conclusion was that a light cover will be sufficient. These light covers can even be made from textiles or from solid plastic parts, which can be connected to a dome. These domes meanwhile are no longer produced because they are too expensive in comparison to textiles.

In the discussion of the durability of slurry storage covers the Institute of Agricultural Engineering in Munich-Weihenstephan pointed out that by using solid covers, such as concrete plates, they no longer need any attention (Zeisig and Langenegger, 1975). In smaller slurry containers, coverings of the same material as the container are possible which can be carried by the structure of the material and require no supporting structures. This can mean steel cement containers, which in the case of underground containers, can even permit vehicle passage on their surface. Although this is the most expensive covering possibility, it is absolutely unavoidable in very narrow courtyards.

Fig. 17 shows a steel slurry container, the cover of which is also made of steel. The covering has the shape of a flat bowling pin and is welded together of several segments. The connection between the covering and the container is also welded. A very high load capacity of the pin makes it possible for several people to pass over the container. In this example, the monitoring opening is located in the top middle.

Braunkohlenstaub und ähnlichen Abfällen.

Nach Ratschow (1982) kann die Reduzierung von Emissionen durch sehr einfache Abdeckungen im Durchschnitt 90 % der Gerüche vermeiden; die Ammoniak-Emissionen werden dabei auf etwa 80 % vermindert. Ein besseres Ergebnis lässt sich durch den Bau von zeltartigen Abdeckungen mit einem zentralen Mast erreichen, oder durch den Bau von Abdeckungen in der Form von Betonplatten. Der Stand der Baukunst in Amerika und in Deutschland auf diesem Gebiet wurde von Krentler (1999) in einem Vergleich dargestellt.

2.5.3.2 Feste Abdeckungen

Tautz und Westendarp (1994) verglichen verschiedene Möglichkeiten von Güllebehälterabdeckungen in Bezug auf Geruchsemissionen. Sie fanden, dass die schwimmenden Abdeckungen nicht schlecht sind, aber für eine Langzeitnutzung schlagen sie das so genannte Zelt vor.

Eine ähnliche Diskussion wurde durch Ratschow (1982) geführt. Seine Schlussfolgerung war, dass eine leichte Abdeckung ausreichen sollte. Diese leichten Abdeckungen können entweder aus Textilien oder aus festen Kunststoffteilen hergestellt sein, die zu einem zeltartigen Gebilde zusammengefügt werden können. Diese Abdeckungen werden inzwischen jedoch nicht mehr gebaut, weil sie im Vergleich zu den Textilien zu teuer sind.

Während der Diskussion über die Haltbarkeit von Güllebehälterabdeckungen hat das Institut für Landtechnik in München-Weihenstephan herausgestellt, dass bei Gebrauch von festen Abdeckungen wie z. B. Betonplatten, keine weitere Aufmerksamkeit aufgewendet werden muss (Zeisig und Langenegger, 1975).

In kleineren Güllebehältern sind Abdeckungen aus dem gleichen Material wie der Behälter möglich, die dann auch statisch durch das Material getragen werden und keine eigene Stützkonstruktion benötigen. Dieses kann z. B. bei Stahlbetonbehältern gemacht werden, und im Falle von unterirdischen Behältern können sogar Lasten durch Fahrzeuge getragen werden. Obwohl dieses die teuerste Art einer Abdeckung ist, ist sie manchmal in sehr engen Hoflagen unvermeidlich.

Abb. 17 zeigt einen Güllebehälter aus Stahl, dessen Abdeckung ebenfalls aus Stahl gefertigt ist. Die Abdeckung hat die Form einer flachen Bowlingfigur und wird aus mehreren Segmenten zusammengeschweißt. Die Verbindung zwischen der Abdeckung und dem Behälter ist ebenfalls geschweißt. Eine hohe Tragfähigkeit dieses Gebildes ist gegeben, so dass mehrere Menschen den Behälter betreten können. In diesem Beispiel ist die Kontrollöffnung oben in der Mitte angeordnet.



Abb. 17: Stahldeckel auf rundem Stahlbehälter einer Biogas-Anlage
Steel cover on a round steel container in a bio-gas plant

This covering is also used often in American storage containers for the "flushing system" (the flushing of solid manure out of large dairy barns).

Solid covers also can be higher. The example shown in fig. 18 is made of aluminium segments. As it is more difficult to weld aluminium than iron, the segments are connected by ribbons which go into a frame structure. This structure serves as a connection and as bearing part as well. The cover is too light for walking. That is why the control opening is on the side.

A very solid cover for a slurry container of concrete is shown in fig. 19. It is a half-timber framework with wooden planks. Here, a very special quality of wood is used, which can withstand any odour which may occur in agriculture. On top of the planks there is a plastic layer. As early as the 70ies, the former FAL Institute of Farm Construction Research set up a model project west of Wolfsburg with the goal of minimising the emissions of concrete slurry containers with a tent-type construction on a central mast.

Diese Lagerungsart wird auch oft in amerikanischen Lagerbehältern für das so genannte "Flushing system" eingesetzt (es handelt sich dabei um das Spülen der Feststoffe aus sehr großen Milchviehanlagen).

Feste Abdeckungen können auch leichter als die aus Stahl sein. Das Beispiel in Abb. 18 zeigt Aluminiumelemente. Da es schwieriger ist Aluminium zu schweißen als Eisen, werden die Segmente durch genietete Rippen getragen, die ihrerseits eine Rahmenkonstruktion bilden. Diese Bauweise dient zur Verbindung der Teile sowie auch als Tragekonstruktion. Die Bauweise ist zum Betreten zu leicht. Aus diesem Grunde ist die Kontrollöffnung an der Seite angeordnet.

Eine sehr feste Abdeckung für einen Güllebehälter aus Beton wird in Abb. 19 gezeigt. Es handelt sich um eine Fachwerkbauweise mit Holzbeplankung. Hier wird eine besondere Holzgüte verwendet, die jedem Geruch Widerstand bieten kann, der in der Landwirtschaft auftritt. An der Oberseite der Beplankung befindet sich eine Kunststofflage. Schon in den frühen 70er Jahren hat das frühere FAL-Institut für Bauforschung ein Modellvorhaben westlich von Wolfsburg mit dem Ziel

der Minimierung von Emissionen aus Stahlbetonbehältern mit Abdeckung durch eine zeltartige Konstruktion und einen Zentralmast betreut.

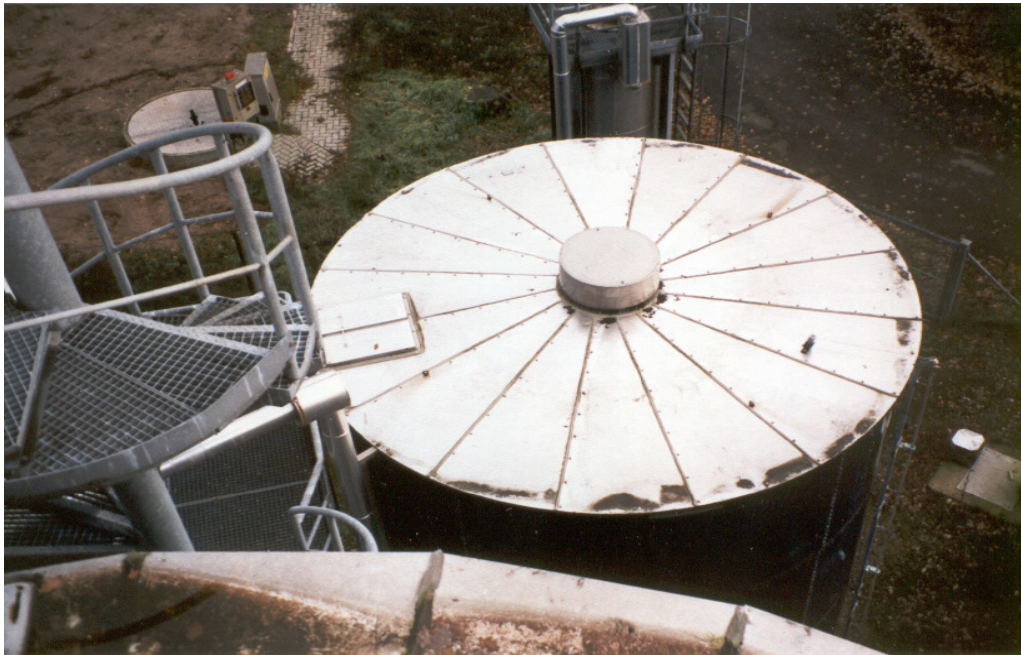


Abb. 18: Abdeckung eines Güllebehälters aus Aluminiumsegmenten auf einem Fachwerkrahmen
Cover of a slurry container made of aluminium segments on a frame structure



Abb. 19: Abdeckung eines Beton-Güllebehälter mit Holzfachwerk, Beplankung und Kunststoffbahnen
Concrete slurry container with wooden framework with plank and plastic sheet segments as a cover

This construction is constantly being improved, both in its individual construction parts as well as in terms of the materials used. The problem of tension differences at the edges of the container and at the

Diese Konstruktion wurde ständig weiter entwickelt, sowohl was seine individuellen Bauteile als auch was das Material angeht. Das Spannungsproblem zwischen Oberkante des Behälters und Bodenplatte durch den

base of the mast due to strong weather changes which could cause damage have been solved. In extreme cases, the mast base has even broken through the soil plate with increasing tension.

The most modern construction of this type are high ropes with a central support, which carry a space delineating roof covering. The central support is galvanised and coated with epoxy. It stands on a base for weight distribution and can be driven out telescopically so that the roof remains level and can be drawn up to the desired amount of tension, which can also be adjusted. The roof covering is a very stable textile coated on both sides with plastic, which is weather and UV resistant. The ropes on the edges of the container can be adjusted in length. Fig. 20 shows such a covering for a steel cement storage container of 1,500 m³ which started operating in the FAL in Braunschweig in December 2001.



Abb. 20: Kunststoffzelt mit Zentralmast als Abdeckung auf Beton-Güllebehälter
Plastic tent with centre pole as a cover of a concrete slurry container

2.5.4 Cost of covering

According the calculation of the KTBL, published by the AID in 1993, costs for granulate fillers for a usage duration of five years and 1,500 fattening pigs per year and square meter, are about 3 Euro. Under the same conditions a tent roof would require about 10 Euro.

Current statistics from the manufacturer CENO for the described floating covers for soil lagoons are about 6 Euro/m³ for a 1,500 m³ capacity lagoon.

zentralen Mast konnte gelöst werden. In Extremfällen hatte der Mast bei zunehmender Spannung die Bodenplatte durchstoßen.

Die modernste Konstruktion für diesen Zweck ist heute ein Zentralmast, der in der Länge verschieblich ist. Der Zentralmast ist galvanisiert und mit Epoxyd beschichtet. Zur Gewichtsverteilung steht er auf einer verstärkten Stelle des Bodens und kann teleskopartig ausgefahren werden, so dass das Dach immer gerade steht und auf die gewünschte Spannung gebracht werden kann, die nachgeregelt werden kann. Diese Dachabdeckung ist sehr stabil und auf beiden Seiten kunststoffbeschichtet, was wetter- und UV-beständig ist. Die Seile am Behälterrand können ebenfalls in der Länge justiert werden. Abb. 20 zeigt eine solche Abdeckung für einen Stahlbetonbehälter mit 1.500 m³ Fassungsvermögen, der in der FAL in Braunschweig im Dezember 2001 in Betrieb genommen wurde.

2.5.4 Kosten von Abdeckungen

Nach Berechnungen des KTBL, die vom AID 1993 veröffentlicht wurden, kosten Abdeckungen aus Granulaten für eine Dauer von 5 Jahren bemessen bei 1.500 Mastschweinen pro Jahr und m² etwa 3 EUR. Unter gleichen Bedingungen würde ein Zeltdach 10 EUR kosten.

Nach laufenden Statistiken des Herstellers CENO für das beschriebene System dürften schwimmende Abdeckungen 6 EUR pro m³ bei 1.500 m³ Kapazität kos-

Due to the cost digression the covering for a 500 m³ soil lagoon costs about 9.50 Euro per m³. Between these two points, the prices can be interpolated linearly.

2.5.5 Effectiveness of the measure

Studies of the Weser-Ems Chamber of Agriculture have shown, that with a light material filler of Perlite, an odour reduction of 90 % can be achieved. Permanent coverings have a better level of effectiveness, which are close to 100 %. It can be seen that the coverings for slurry containers fulfil their purposes completely. Due to the large differences in construction costs of the coverings, this factor should be decided in the planning phase of new structures. Thus, the materials for both the cover and the container can work together, which has a number of advantages.

2.5.6 Perspective and emissions

The Federal Republic of Germany has obligated itself in a number of international contracts, to reduce its ammonia emission to 550 Gg (1 Giga-gram is 1,000 tons) by the year 2010. The NH₃-emissions depend on a variety of factors. The current calculation methods are considered too general. More information on animal husbandry practices, feeding available slurry containers and slurry distribution must be gathered for further calculations.

2.6 Reconstruction of liquid manure reservoirs

If slurry containers made of concrete built are strictly according to the instructional pamphlet "*Merkblatt Stahlbeton für Güllebehälter*", no damages will occur (Hersel, 1999). But practise showed that sometimes insufficient care during planning and construction or disregarding of technical regulations can lead to damages which must be repaired. The reasons for damage to concrete containers have been stated:

- non suitable composition of the concrete
- incorrect laying of the reinforcement
- impermissible addition of water to the concrete on the construction site to make the concrete more smooth
- non suitable pouring of concrete or compaction
- non sufficient care of the concrete after pouring on very hot days (evaporation).

Goldenstern (1999) set up a list of four different degrees of damages at slurry containers. They are:

Degree 1: Slits in the concrete surface of more than 0.3 mm could cause the reinforcement to

ten. Nach der Degression würde ein 500 m³ Behälter etwa 9,5 EUR pro m³ kosten. Zwischen diesen beiden Punkten können die Preise interpoliert werden.

2.5.5 Wirksamkeit der Maßnahmen

Eine Studie der Landwirtschaftskammer Weser-Ems hat gezeigt, dass mit einem leichten schwimmenden Material wie Perlite eine Reduzierung der Gerüche von 90 % erreicht werden kann. Feste Abdeckungen haben noch eine bessere Wirkung, die dicht an 100 % heran reichen. Man kann sehen, dass die Abdeckungen von Güllebehältern ihren Zweck vollständig erfüllen. Wegen der sehr großen Unterschiede bei den Baukosten sollte jedoch dieser Faktor bereits in der Planungsphase neuer Behälter beachtet werden. Wenn die Materialien für Behälter und Abdeckung gut zusammenpassen, hat dies eine Menge von Vorteilen.

2.5.6 Ausblick und Emissionen

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich in einer Anzahl von internationalen Verträgen selbst verpflichtet, ihre Ammoniak-Emissionen auf 550 GIGA (1 GIGA-Gramm ist 1.000 Tonnen) bis zum Jahr 2010 zu reduzieren. Die NH₃ Emissionen hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, die heute gebräuchlichen Berechnungsmethoden werden als zu allgemein angesehen. Weitere Informationen über Tierhaltung, Tierfütterung und Güllebehälter sowie Gülleausbringung müssen für weitere Berechnungen gesammelt werden.

2.6 Reparatur von Flüssigmistbehältern

Wenn Güllebehälter strikt nach dem Handbuch "*Merkblatt Stahlbeton für Güllebehälter*" ausgeführt werden, werden keine Beschädigungen auftreten (Hersel, 1999). Die Praxis zeigte jedoch, dass manchmal Unachtsamkeiten während der Planungs- und Bauausführungsphase oder die Nichtbeachtung von technischen Regeln zu Beschädigungen führen, die repariert werden müssen. Die Gründe für die Beschädigung von Stahlbetonbehältern können wie folgt sein:

- unkorrekte Zusammensetzung des Betons
- unkorrekte Lage der Bewehrung
- unerlaubtes Hinzufügen von Wasser in den Fertigbeton auf der Baustelle, um den Beton geschmeidiger zu machen
- unkorrektes Schütten des Betons oder Verdichten
- unzureichende Nachsorge des Betons nach dem Schütten an besonders heißen Tagen (Verdunstung).

Goldenstern (1999) stellte eine Liste von 4 verschiedenen Graden von Beschädigungen an Güllebehältern

rust.

Degree 2: If slits are more than 0.4 mm on the surface or slits going through the wall are more than 0.3 mm, an expert has to be involved.

Degree 3: The container may become statically unsafe if slits of more than 1.0 mm on the surface or more than 0.7 mm going through are observed.

Degree 4: A slurry container is unsafe if slurry leaks through the wall. In this case an expert has to decide whether the container must be emptied.

Klose (1989) proposed a table to assure concrete quality for the building of slurry containers. According to this table the different steps of the construction should be controlled by different experts, such as the building contractor, the building master, the concrete manufacturer of the building authority.

2.6.1 Repairing horizontal silos

Silos for ensilage are the most stressed building in agriculture. This is why their durability has been under discussion for a long period of time. Damages reported up to now resulted from mistakes made during the construction. Main causes were incorrect composition concrete, improper construction and burst-off. The burst-off of the top layer can either be a result of corrosion of the reinforcement or come from improper preparation of the concrete surface (Richter, 1999).

The Institute of Agricultural Engineering of the University of Hohenheim made practical experiments with repairing horizontal silos. They showed that reconstructing these silos with a second layer of concrete, which is applied with a newly developed surface finisher, can be a permanent and low cost method (Epinatjeff et al., 2000).

Schade (1990) proposed using coats of paint for the repair of silos for ensilage. Tests showed that these paints lasted for a maximum of five years; in many cases the paint had to be renewed every second year. This is why Englert (1993a) preferred coatings of at least 1 cm thickness. These coatings can be made as mixtures with bitumen, dispersions of different plastic materials as PVC, Polyurethane (PUR) and Epoxy and concrete. Another proposal by Englert (1993b) is to build a surface layer of asphalt concrete as a floor in silos for ensilage. He estimates the durability of such a layer to be up to 20 years.

auf. Das sind:

Grad 1: Schlitze an der Betonoberfläche mit mehr als 0,3 mm Breite könnten zum Rosten der Bewehrung führen.

Grad 2: Wenn Schlitze von mehr als 0,4 mm auf der Oberfläche auftreten, könnten diese Schlitze durchgehen, und bei mehr als 0,3 mm sollte ein Experte hinzugezogen werden.

Grad 3: Der Behälter könnte statisch unsicher werden, wenn Schlitze von mehr als 1 mm auf der Oberfläche oder mehr als 0,7 mm durchgehend beobachtet werden.

Grad 4: Ein Güllebehälter ist unsicher, wenn Gülle durch die Behälterwand sickert. In diesem Fall muss ein Experte entscheiden, ob der Behälter entleert werden muss.

Klose (1989) schlug eine Tabelle vor, um die Betonqualität zum Bau von Güllebehältern festzulegen. Nach dieser Liste sollten die verschiedenen Schritte beim Bau durch einen oder mehrere Experten kontrolliert werden, wie z. B. den Bauunternehmer, den Bauherrn, den Betonhersteller oder das Bauamt.

2.6.1 Reparatur von Fahrsilos

Fahrsilos sind das am stärksten angegriffene Bauwerk in der Landwirtschaft. Aus diesem Grunde ist deren Dauerhaftigkeit seit langer Zeit diskutiert. Beschädigungen, die bis heute bekannt wurden, resultierten aus Fehlern während der Bauzeit. Die Hauptgründe waren unkorrekte Zusammensetzung des Betons, unsaubere Bauausführung und Abplatzen. Das Abplatzen der obersten Schicht kann entweder Ergebnis vom Verrosten der Bewehrung sein, oder kann durch nicht fachgerechte Behandlung der Betonoberfläche entstehen (Richter, 1999).

Das Institut für Landtechnik der Universität von Hohenheim machte praktische Versuche in Bezug auf die Reparatur von Fahrsilos. Es zeigte sich, dass die Reparatur dieser Silos durch eine 2. Betonlage, die mit einem neu entwickelten Haftkleber ausgeführt wurden, eine dauerhafte und kostengünstige Methode sein kann (Epinatjew et al., 2000).

Schade (1990) schlug zur Reparatur von Fahrsilos das Aufbringen von Farbschichten vor. Versuche zeigten, dass diese Farben maximal 5 Jahre hielten; in vielen Fällen musste der Anstrich sogar jedes 2. Jahr erneuert werden. Aus diesem Grunde zog Englert (1993a) Beschichtungen von wenigstens 1 cm Stärke vor. Diese Beschichtungen können aus einer Mischung mit Bitumen, Dispersionen von Kunststoffmaterialien wie PVC, Polyurethan (PUR), Epoxydharz und Beton bestehen. Ein anderer Vorschlag von Englert (1993b) besteht darin, eine Oberflächenschicht aus Asphaltbeton als Fußboden für Fahrsilos vorzunehmen. Er

2.6.2 Protection and restoration of liquid manure containers

The most frequent measure for the restoration of concrete slurry containers is to close slits, to ensure that the reinforcement cannot rust. If there are wide slits of static relevance, particular regulations have to be observed. They deal with an anti-corrosive treatment of the reinforcement before the slits are closed (Goldenstern, 1989) by cement paste. If there is the danger of attack of unthinned silage juice to the slurry containers, he proposes an additional painting of the inner walls and the ground plate.

Calloni et al. (1999) tried a new system for the measurement of slits in slurry containers. Their approach is based on small amplitude oscillatory measurements by collecting information on either kinetics of gelation of cements or the strength of their structures. This fundamental approach has been useful to formulate different cement slurries that have been used with success in several field trials where the risk of gas migration was relatively high.

There are different products on the market for the restoration of slurry containers. Goldenstern (1988) recommends using only approved products. These products have been tested by reference projects and in the laboratory also.

The experiences with slurry storage reservoirs seen by point of view of the farm building extension service in Lower Saxony were reported by Vonholt (1986). In many cases orders were given to companies which did not make a complete cost calculation at the beginning. Also, the description of the construction details was sometimes incomplete or they did not refer to special circumstances on the construction site. These circumstances like groundwater table, conditions of the ground and different heights between animal house floor and slurry container led to higher costs, which had to be paid by the building master.

The Norwegian Agricultural University, Institute for Agricultural Engineering in Ås dealt with concrete deterioration in manure cellars (Berge and Vernhardson, 2000). The particular problem with manure cellars in Norway is related to the very deep temperatures, which are reached in the winter period. Temperatures of about -40 °C can be reached, which demands a safe foundation.

schätzt die Dauerhaftigkeit einer solchen Schicht auf bis zu 20 Jahren.

2.6.2 Schutz und Wiederherstellung von Flüssigmistbehältern

Die am häufigsten eingesetzte Maßnahme für die Reparatur von Güllebehältern ist es die Schlitz zu schließen, um sicher zu machen, dass die Bewehrung nicht rosten kann. Falls es jedoch breite Schlitz von statischer Bedeutung gibt, müssen besondere Regeln beachtet werden. Sie befassen sich mit einer Antirostbehandlung der Bewehrung bevor die Schlitz geschlossen werden (Goldenstern, 1989), durch Zementpaste. Falls es die Gefahr durch den Angriff unverdünnter Silosäfte auf den Güllebehälter gibt, schlägt er eine zusätzliche farbliche Beschichtung auf den Innenseiten der Wände und der Bodenplatte vor.

Caloni et al. (1999) versuchten ein neues System zur Messung von Schlitz in Betonbehältern. Das basierte auf der Messung von Amplituden eines Oszillators durch Sammlung von Informationen über die Entwicklung der Betonfestigkeit und der Prismendruckfestigkeit. Dieser grundsätzliche Ansatz zeigte sich als hilfreich beim Einsatz von Zementschlempen, die erfolgreich eingesetzt worden waren, um das Risiko von Gasdurchdringungen, die relativ hoch waren, zu vermindern.

Es sind verschiedene Produkte auf dem Markt für die Reparatur von Güllebehältern. Goldenstern (1988) empfahl, die Nutzung nur geprüfter Produkte. Diese Produkte wurden durch Referenzprojekte getestet, ebenso auch im Laboratorium.

Die Erfahrung mit Güllebehältern aus Sicht der Bauberatung des Landes Niedersachsen wurden von Vonholt (1986) berichtet. In vielen Fällen wurden Aufträge an Firmen vergeben, die nicht von Anfang an eine vollständige Kostenkalkulation durchgeführt hatten. Auch war in einigen Fällen die Baubeschreibung unvollständig oder sie bezog sich nicht auf zusätzliche, besondere Umstände auf der Baustelle. Diese Umstände wie z. B. Grundwasserstand, Baugrundbedingungen, verschiedene Höhen zwischen Stallboden und Güllebehälter führten zu höheren Kosten, die dann durch die Bauherren zu zahlen waren.

Das Institut für Landtechnik der Norwegischen Landwirtschaftlichen Universität in Ås beschäftigte sich mit Fehlern in Güllekellern (Berge und Fernhardson, 2000). Das besondere Problem mit Güllekellern in Norwegen liegt an den sehr tiefen Temperaturen, die dort in der Winterperiode erreicht werden. Es können Temperaturen von bis zu -40 °C erreicht werden, was eine sichere Gründung erfordert.

2.7 Conclusions from literature review

The literature review proved that world-wide there is a lot of concern on the storage of animal waste and environmental protection.

First of all this meant the possibility that soluble salts might be transported into the groundwater and finally into the drinking water (nitrification) by leaking storage reservoirs, but moreover the experts also deal with air pollution over the slurry storages.

Many authors dealt with the soil quality in connection with slurry storage and application; this was either done generally, or especially for pig farms and/ or for cattle farms. All of them demand "safe slurry storage", but no practical technical definition of this term was found.

A comparison of regulations which have been passed in many countries showed that many regulations like the minimum storage periods are in force already. In Germany moreover these regulations do not only cover the building of reservoirs and the handling of the manure, but also long term control programs. These control programs are obligatory to get a building permission.

After all the main demand generally is, that slurry containers and their related slurry channels and possibly pre-pits must be "tight".

Also, the danger of pollutant emissions into the air over slurry channels and reservoirs was discussed and covers were demanded.

Because of these conclusions main topics of the experimental part of this work were decided and carried out as follows.

2.7 Schlussfolgerungen aus der Literatur

Die Literatur zeigte, dass es weltweit große Besorgnis über Umweltschutz und Güllelagerung gibt.

Zuallererst gibt es die Möglichkeit, dass lösliche Salze durch undichte Lagerbehälter in das Grundwasser und damit letztendlich in das Trinkwasser eindringen (Nitrifizierung). Aber zunehmend befassen sich die Experten auch mit der Luftverschmutzung über den Güllebehältern.

Viele Autoren befassten sich mit der Bodenqualität im Zusammenhang mit der Güllelagerung und Gülleausbringung; dies wurde entweder generell, oder speziell für Schweine- und Rinderbetriebe durchgeführt. Alle forderten eine „sichere Güllelagerung“, aber es wurde bisher keine praktikable technische Definition dieses Terminus¹ gefunden.

Ein Vergleich der Regelungen, die bereits in vielen Ländern erlassen wurden, zeigte, dass viele Regelungen wie die Mindestlagerzeit bereits in Kraft sind. In Deutschland betreffen diese Regelungen in zunehmendem Maße nicht nur den Bau der Behälter und den Umgang mit der Gülle, sondern auch die Langzeitkontrolle. Diese Kontrollprogramme sind heute obligatorisch, um eine Baugenehmigung zu bekommen.

Nach alledem ist die generelle Anforderung, dass Güllebehälter und mit ihr verbundene Güllekanäle und möglicherweise Vorgruben „dicht“ sein müssen.

Es wurde auch über die Möglichkeit der verunreinigenden Emissionen über Güllekanälen und Behältern gesprochen, und entsprechende Abdeckungen wurden verlangt.

Auf Grund dieser Schlussfolgerungen wurden die Hauptgegenstände des experimentellen Teils dieser Arbeit beschlossen und wie folgt ausgeführt.

3 Methodology

3.1 General

- The value of slurry in agriculture is well known,
- Slurry storage containers must be large enough to contain the amount which is needed for six month at least, (Germany and Poland),
- Scandinavian countries store slurry for up to one year,
- Slurry should be applied when plant uptake is at its highest.
- Slurry storage is necessary for the protection of the environment. Of the competitive construction materials, reinforced concrete is used the most. Farmers and engineers have been complaining for years that the procedures for attaining building permits take too long, that they are difficult and involve too many authorities and constructional requirements.

3.2 Problem

From the authorities' point of view the problem focuses on the question of whether the slurry containers are "tight" or not, as this is the main demand of the German Water Household Law (WHG), which serves as an example for similar regulations for environmental protection in other countries.

A similar law has been passed in Poland. Art. 18 of the law "O nawozach i nawożeniu" (Dz. U. Nr 89, poz. 991 from 26.07.2000) says that:

- agricultural buildings must stand on a ground plate,
- they must be "tight" against the soil,
- for slurry channels and slurry containers as well as for dung silos the same demands are in force.

To clarify the question whether concrete for agricultural buildings is "tight", tests with slurry, water and concrete blocks of a defined quality (B 25 WU and B 35 WU) were carried out.

3.3 Material and methods

The experiments described in this paper deal with the main question, whether concrete for agricultural buildings and facilities is "tight" in the sense of the law, and at the same time, the nitrogen content in the soil under a plastic lined slurry lagoon was measured. Both parts of the investigation serve to make the decisions of the building authorities easier, which will accelerate the permit procedures.

3 Material und Methodik

3.1 Allgemeines

- Der Wert von Gülle ist in der Landwirtschaft gut bekannt.
- Güllelager müssen groß genug sein, um die Menge für mindestens 6 Monate lagern zu können (Deutschland und Polen).
- In den skandinavischen Ländern wird Gülle bis zu einem Jahr lang gelagert.
- Gülle sollte ausgebracht werden, wenn die Aufnahme durch die Pflanzen an ihrem höchsten Punkt ist.
- Güllelagerung ist zum Schutz der Umwelt unbedingt notwendig.

Von den konkurrierenden Baumaterialien wird Stahlbeton am meisten eingesetzt. Landwirte und Ingenieure klagen seit vielen Jahren darüber, dass die Genehmigungsverfahren zu lang sind, dass sie zu schwierig sind, und zu viele weitere Behörden involviert sind, mit der Folge zusätzlicher Anforderungen an die Konstruktion.

3.2 Problemstellung

Aus Sicht der Behörden spitzt sich das Problem auf die Frage zu, ob Güllelager „dicht“ sind oder nicht, denn dieses ist die Hauptforderung des deutschen Wasserhaushaltsgesetzes (DHG), die durchaus als Beispiel für ähnliche Regelungen zum Zweck des Umweltschutzes in anderen Ländern dienen kann.

Ein ähnliches Gesetz wurde in Polen erlassen. Artikel 18 dieses Gesetzes sagt, dass:

- landwirtschaftliche Gebäude und Bauwerke auf einer Bodenplatte stehen müssen,
- sie müssen „dicht“ gegenüber dem Boden sein,
- für Güllekanäle und Güllebehälter wie auch für Fahrhilfen sind die gleichen Regeln in Kraft.

Um die Frage zu klären, ob Beton für landwirtschaftliche Bauten "dicht" ist, wurden Versuche mit Gülle, Wasser und Betonprobenwürfen definierter Qualität (B25WU und B35WU) ausgeführt.

3.3 Material und Methoden

Die hier beschriebenen Experimente befassen sich hauptsächlich mit der Frage, ob Beton für landwirtschaftliche Gebäude und bauliche Anlagen "dicht" im Sinne des Gesetzes ist, und zugleich, ob der Stickstoffgehalt im Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Gülleerdbecken gemessen wurde. Beide Teile der Forschung dienen dazu, die Entscheidungen der Baubehörden zu erleichtern, was die Genehmigungsverfahren beschleunigen wird.

3.3.1 Experiments on the "tightness" of concrete slurry container

Slurry is a mixture of animal waste, cleaning water and parts of litter. The technical qualities of slurry depend on the kind of animals and the slurry/dung-system (Table 2). This is why there is a wide range of different slurry qualities.

3.3.1 Experimente zur "Dichtheit" von Güllebehältern aus Beton

Gülle ist eine Mischung aus tierischen Exkrementen, Reinigungswasser und Einstreu. Die physikalischen Eigenschaften von Gülle hängen ab von der Tierart und von dem Gülle/Mistsystem (Tabelle 2). Aus diesem Grunde gibt es eine sehr große Spannweite verschiedener Güllesorten.

Tab. 2: Mittleres Vorkommen der Stoffe in verschiedenen Güllearten (Romaniuk, 2000)
Average elements in different slurries (Romaniuk, 2000)

| Gülleart/Slurries | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--|---------|-------------------------------|------------------|
| Mist Dung | 0,5 | 0,3 | 0,7 |
| Flüssigmist Liquid manure | 0,3-0,6 | 0,01-0,1 | 0,4-1,0 |
| Schweinegülle Pig slurry | 0,64 | 0,41 | 0,29 |
| Rindergülle Cattle slurry | 0,45 | 0,18 | 0,59 |
| Flüssigmist mit Wasser Liquid manure with water | 0,101 | 0,019 | 0,235 |

The plan for the tests was to use a slurry as close to farm conditions as possible. Therefore, cattle slurry from the FAL in Braunschweig (Germany) test station was used. As cattle slurry demixes in the three components swimming layer of solids, effluent and sinking layer in a very short period of time, the test slurry was very carefully homogenised by pumping in a period of three hours. First of all the density of the slurry was measured using a gravimeter. It was 1.012 g dm⁻³, which is absolutely normal.

According to the keeping system of the animals, liquid manure can also occur in stead of slurry. Liquid manure normally is a mixture from urine, silage juice and water. For the storage of liquid manure the same regulations as for the storage of slurry are in force. To make the tests with liquid manure replicable, it was produced in a standardized way: the slurry used for the penetration tests, which had to pass a sieve with 0.75 by 0.75 mm net was cleared in a separator for 2 hours each, to separate the solids from the effluent.

Clear water in drinking water quality was used as a reference fluid under the same test conditions. The tests were run with a test machine according to DIN 1048. The concrete test blocks in the above mentioned qualities were set under pressure. The hardening process of the concrete blocks lasted for a minimum of 28 days, after which the test could start. This is also demanded by DIN 1048, which deals with the construction with concrete.

Um Gülle zu verwenden, deren Eigenschaften möglichst dicht an derjenigen aus der Praxis liegen, wurde Gülle aus der Versuchsstation der FAL verwendet. Da sich Rindergülle in die 3 Komponenten schwimmende Schicht aus Feststoffen, Flüssigkeit und Sinkstoffen entmischt, und das in sehr kurzer Zeit, wurde die Versuchsflüssigkeit sorgfältig homogenisiert durch Umpumpen mit einer Dauer von 3 Stunden. Zuerst wurde die Dichte der Gülle mit dem Gravimeter gemessen. Sie betrug 1,012 g/cdm, was absolut durchschnittlich ist.

Dem Haltungssystem der Tiere entsprechend kann auch Jauche anstelle von Gülle auftreten. Jauche ist in der Regel eine Mischung aus Urin, Silagesaft und Wasser. Für die Lagerung von Jauche gelten die gleichen Regeln wie für die Lagerung von Gülle. Um Versuche mit Jauche wiederholbar zu machen, wurde sie auf eine standardisierte Weise hergestellt: die Gülle, die für die Eindringtests verwendet worden war, die ein Sieb mit 0,75 x 0,75 mm passieren musste, wurde 2 Stunden lang in einem Separator gereinigt, um die Feststoffe von der Flüssigkeit zu separieren.

Klares Wasser in Trinkwasserqualität wurde als Referenzflüssigkeit bei den gleichen Versuchen unter gleichen Bedingungen verwendet. Die Versuche wurden mit einer Versuchsvorrichtung entsprechend DIN 1048 durchgeführt. Die Betonblöcke in den oben genannten Eigenschaften wurden beaufschlagt. Der Aushaltungsprozess der Betonblöcke dauerte mindestens 28 Tage, danach konnten die Versuche beginnen. Dieses ist

The test machine (see Fig. 21) provided a pressure of 0.5 N mm^{-2} for a period of 72 hours, which equals 10 times the pressure which will occur naturally in a slurry of 5 m of height.

ebenfalls eine Forderung der DIN 1048, die sich mit dem Bauen mit Beton befasst.

Die Testvorrichtung (Abb. 21) lieferte einen Druck von $0,5 \text{ N mm}^{-2}$ während einer Periode von 72 Stunden, was dem Zehnfachen des Druckes entspricht, der natürlicherweise in einem Güllebehälter von 5 m Höhe entsteht.

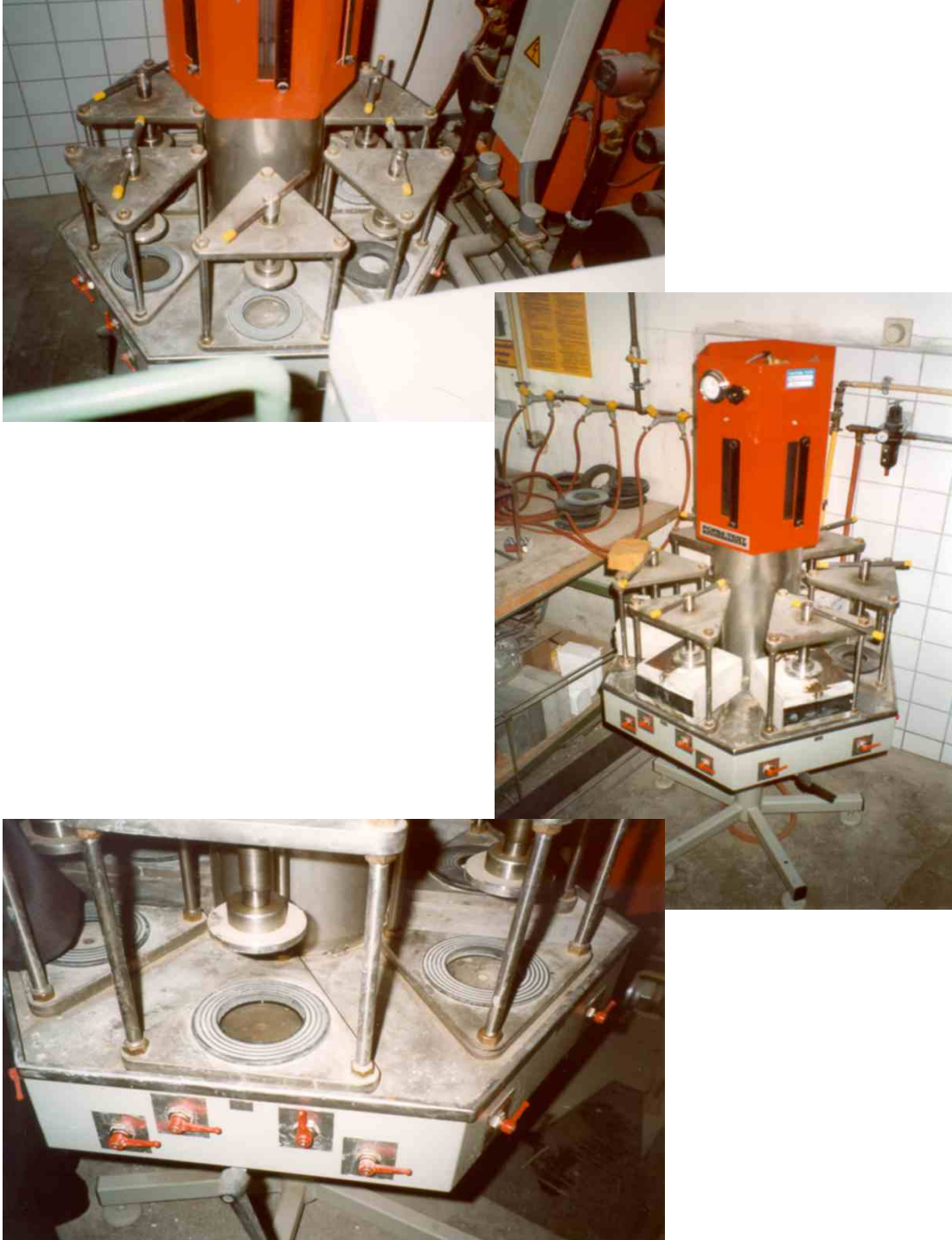


Abb. 21: Versuchsvorrichtung für Eindringversuche
Test machine for penetration tests

This shows the effect of a long term test. According to DIN 1048 Part 5 the average of the maximum penetration into 3 test blocks must be calculated.

The test blocks were ordered from two different concrete manufacturers in the Braunschweig area to make sure that the tests are performed under normal conditions. They were test blocks of two different concrete qualities with the receipt numbers 41430F in quality B25 and 61433 in quality B35. Both qualities were delivered from both of the manufacturers. The concrete blocks measured 20*20*12 cm. After the pressure period the test blocks were split, the different penetration depths were measured and set in tables. This data was used to draw charts showing the different penetration in the sections of the test blocks. Table 3 shows the list of the concrete samples, their hardening periods and their test purposes.

Nach DIN 1048, Teil 5 ist jeweils ein Mittelwert aus 3 Versuchsblöcken zu berechnen.

Die Versuchsblöcke wurden von 2 verschiedenen Betonherstellern im Gebiet um Braunschweig bestellt, so dass die Versuche unter Praxisbedingungen stattfinden konnten. Es handelte sich um Versuchsblöcke von 2 verschiedenen Betonqualitäten mit den Mischungsnummern 41430 F in der Qualität B 25 und 61433 in der Qualität B 35. Beide Qualitäten wurden von jeweils beiden Herstellern auch geliefert. Die Abmessungen der Betonblöcke betragen 20x20x12 cm. Nach der Beaufschlagungsphase wurden die Betonblöcke gespalten, die verschiedenen Eindringtiefen gemessen und in Tabellen festgehalten. Diese Daten wurden benutzt, um Querschnittszeichnungen über das verschiedene Eindringen herzustellen. Tabelle 3 zeigt eine Liste der Probestücke, ihre Aushärtungszeiten und ihre jeweiligen Testzwecke.

Tab. 3: Aushärtungsprozess der Betonprüflinge und ihr Versuchszweck
Process of hardening of concrete samples and their test purposes

| Hersteller <i>Manufacturer</i> | Prüfling Nr. <i>Sample No.</i> | Betonmischung und -qualität <i>Concrete recipe and quality</i> | Herstellungs- datum <i>Day of manufacture</i> | Aushärtungsende in Tagen <i>End of hardening/ days</i> | Versuche <i>Tests</i> | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|---------------------------------|----------------------------------|
| | | | | | mit Wasser <i>with water</i> | mit Gülle/ <i>with slurry</i> |
| L | 1-3 | 41430.F | 16.30.01 | 15.04.01 | 3 x | - |
| | 4-6 | B25 | | 30 | - | 3 x |
| | 7-9 | 61433.F | 16.03.01 | 18.04.01 | 3 x | - |
| | 10-12 | B35 | | 33 | - | 3 x |
| | 13-15 | 41430.F | 08.03.01 | 07.04.01 | 3 x | - |
| W | 16-18 | B25 | | 30 | - | 3 x |
| | 19-21 | 61433.F | 14.03.01 | 11.04.01 | 3 x | - |
| | 22-24 | B35 | | 28 | - | 3 x |

3.3.2 On the dynamics of penetration

Different from the method described before, the dynamic process of penetration of slurry and liquid manure, and water as a reference fluid, was investigated also. In these tests the differences of penetration of the above mentioned effluents a very close relation to the natural conditions were of special interest. This is why a test pressure of 5.0 m of high was used, which equals the maximum height in very large slurry containers with capacities of 1,000 m³ to 1,250 m³. This pressure was kept up for periods of 14, 28 and 35 days. The concrete test blocks were made of quality B25 WU B1, which is the lowest quality allowed for farm building, except fundaments.

3.3.2.1 Description of tests

Round concrete test blocks with 100 mm diameter and 180 mm of height were made, which served as

3.3.2 Zur Dynamik des Eindringens

Im Unterschied zur vorherbeschriebenen Methode wurde nun auch der Eindringprozess mit Gülle, Jauche und Wasser als Referenzflüssigkeit untersucht. In diesen Versuchen war von besonderem Interesse, inwieweit sich die genannten Flüssigkeiten unter natürlichen Bedingungen verhalten. Aus diesem Grunde wurde ein Versuchsdruck von 5 m Höhe verwendet, was der maximalen Höhe in einem sehr großen Güllebehälter mit Kapazitäten zwischen 1.000 und 1.250 m³ entspricht. Dieser Druck wurde 14, 28 und 35 Tage aufrechterhalten. Die Probestücke wurden in der Qualität B25 WU B1 hergestellt, das ist die niedrigste Qualitätsstufe, die für landwirtschaftliche Bauten erlaubt ist, mit Ausnahme von Fundamenten.

3.3.2.1 Beschreibung der Versuche

Runde Betonprobekörper mit 100 mm Durchmesser und 180 mm Höhe wurden hergestellt, die als Teil

a part of an imaginative big concrete ground plate with the demanded minimum thickness of 18 cm. As during the tests the whole surface of the test block will be covered by different effluents, there will not be any transportation in horizontal direction, but in vertical direction only. To keep up these conditions, the side walls of the test block containers were cladded with PE-sheets (plastic linings).

Pressure: $h = 5.0 \text{ m} = 0.5 \text{ bar} = 0.05 \text{ N mm}^{-2}$.

The tests with slurry were carried out with a funnel, which was glued on top of the test blocks. On the funnel a plastic tube of 5.0 m of height, 40 mm in diameter, was erected (see Fig. 22 and 23).

einer imaginären großen Betonplatte dienen sollten, mit der von der Norm verlangten Minimaldicke von 18 cm. Da während der Versuche die gesamte Oberfläche des Probekörpers durch die verschiedenen Flüssigkeiten beaufschlagt wird, gibt es keine Bewegung in horizontaler Richtung, sondern nur in vertikaler Richtung. Um diese Bedingungen aufrecht zu erhalten, wurden die Seitenwände der Versuchsblöcke mit PE-Folie ausgekleidet.

Die Versuche mit Gülle wurden mit Hilfe eines Trichters durchgeführt, der auf der Oberseite der Versuchsblöcke aufgeklebt wurde. Oberhalb des Trichters befand sich ein Kunststoffrohr von 5 m Höhe und 40 mm Durchmesser (Abb. 22 und 23).

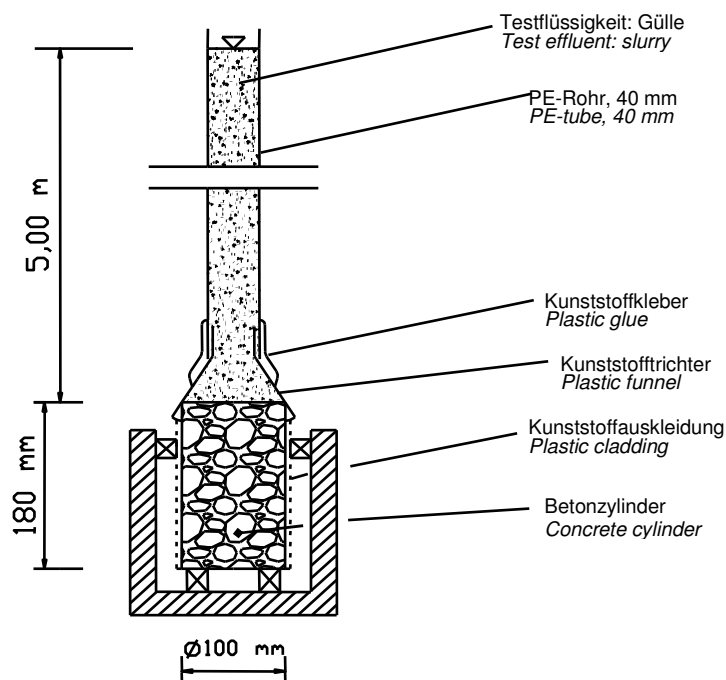


Abb. 22-23: Photo und Schnitt der Versuchseinrichtung über das Eindringen von Gülle in Beton
Photo and sketch of test facility for tests on penetration of slurry into concrete

As the test effluents liquid manure and water do not tend to stop up the test machine (Fig. 21), the equivalent tests could be run with the machine, which of course is much easier. But for these tests it was necessary to put the tightened cylinder of 100 mm diameter into a form made of cement mortar of 150 mm of diameter, as an abutment for the rubber ring is needed (Fig. 24).

After periods of 14, 28 and 35 days in three replications the concrete test blocks were cut and the penetration was measured.

Da die Versuchsflüssigkeiten Jauche und Wasser nicht dazu neigen, die Versuchseinrichtung (Abb. 21) zu verstopfen, wurden die entsprechenden Versuche hiermit durchgeführt, was natürlich wesentlich leichter geht. Jedoch war es für diese Versuche notwendig, den 100 mm Zylinder in eine Form aus Zementmörtel einzugeben, da ein Sitz für den Dichtring aus Gummi benötigt wird (Abb. 24).

Nach 14, 28 und 35 Tagen und in 3 Wiederholungen wurden die Versuchsblöcke aufgespalten und das Eindringen gemessen.

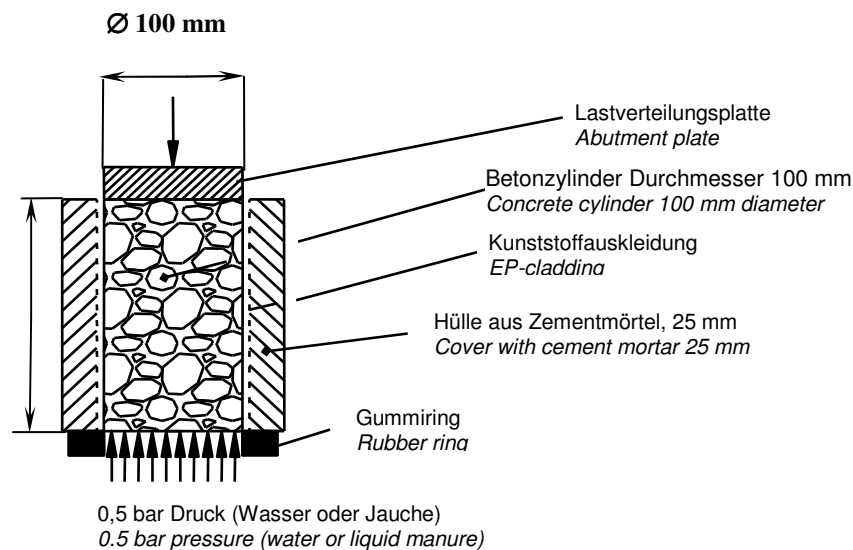


Abb. 24: Schnitt der Versuchseinrichtung über das Eindringen von Jauche und Wasser
Sketch of test facility for penetration of liquid manure and water

3.3.2.2 Concrete quality

The concrete for the tests described before was produced as a B25, condition BI (recipe) according to DIN 1045, this is the lowest quality allowed for storage reservoirs.

The demand of a minimum cement content of 350 kg m⁻³ with a maximum gravel diameter of 32 mm leads to a high water content, which may cause porosity in the concrete after hardening. This will not decrease the solidity of the concrete, but may lead to higher penetration. By this measure, the so-called "worst case possible", which is demanded in engineering every where, was considered.

The following data characterize the quality of the concrete used for the tests:

Cement: CEM I 32, 5R, 350 kg m⁻³

Gravel: Sive line A/B 32, 1796 kg m⁻³, dry

Water: W = 194 kg m⁻³, W/Z = 0.56

Diameter

of spread wet concrete: 43 cm

Specific

3.3.2.2 Betongüte

Die Betonqualitäten für die vorgenannten Versuche wurden als B 25 in der Qualität BI nach DIN 1045 hergestellt. Dies entspricht der niedrigsten Qualität, die für Lagerbehälter zugelassen ist.

Die Forderung nach einem Mindestzementgehalt von 350 kg/m³ mit einem maximalen Größtkorn von 32 mm führt zu einem großen Wasseranteil, der nach dem Aushärtungsprozess zu Porosität führen kann. Dieses vermindert zwar nicht die Prismendruckfestigkeit des Betons, kann aber zu höherem Eindringen führen. Durch diese Maßnahme ist der so genannte "schlimmstmögliche Fall" der im Ingenieurwesen überall vorausgesetzt wird, beachtet.

Folgende Daten charakterisieren die Betonqualität des bei diesen Versuchen eingesetzten Betons:

Zement: CEM I 32, 5R, 350 kg m⁻³

Kies: Sieblinie A/B 32, 1796 kg m⁻³, trocken

Wasser: W = 194 kg m⁻³, W/Z = 0,56

Durchmesser

des ausgebreiteten feuchten Betons: 43 cm

weight of fresh concrete: 2.37 kg dm⁻³
 Solidity
 of concrete samples after 28 days: 42 N mm⁻².

3.3.2.3 Test effluents

a) slurry

The slurry was delivered by the test station of the Federal Agricultural Research Centre (FAL) in Braunschweig, Germany. It was cattle slurry, highly homogenized, without straw components. This slurry had to pass a sieve with a net of 0.75 by 0.75 mm. This quality also served the so called "worst case possible".

Furthermore, these qualities were measured:

- total dry matter content (TS): 3.9%
- pH-value: 4.7

b) liquid manure

The liquid manure for these tests was also delivered by the tests station of the FAL by using the slurry described above; but additionally it passed a centrifuge for two hours to bring the solids out. This procedure makes possible to repeat the tests under precisely the same conditions at every time.

c) water

For the tests normal drinking water was used, as it comes out of the taps of the Braunschweig water supply system.

3.3.3 Measurement of nitrogen content in the soil under a plastic-lined slurry lagoon, replaced by concrete slurry container

In 1984 two plastic lined slurry reservoirs with a capacity of 750 m³ each were built in the test station of the FAL, one them being welded on the construction site, the second one was welded in a fabrication hall and then transported to the construction site. Both containers were built in strict accordance with the regulations of the German federal state of Lower-Saxony (Niedersachsen), which were the most precise ones at that time. The details can be seen in fig. 25, which shows the western one of the two congruent containers.

The most important detail of the containers was a drainage control system, which consisted of the following parts:

- Ground layer of gravel ≤3 mm, 35 cm thick, compressed,
- Plastic lining with PE-sheets, 0.8 mm thick, welded,
- Control tubes 100 mm in diameter, leading to control tube,
- Filling layer of gravel ≤3 mm, 100 mm thick to

Spezifisches

Gewicht des frischen Betons: 2,37 kg dm⁻³
 Festigkeit
 der Betonprobewürfel nach 28 Tagen: 42 N mm⁻²

3.3.2.3 Versuchsflüssigkeiten

a) Gülle

Die Gülle wurde durch die Versuchsstation der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig (FAL) geliefert. Es handelte sich um Rindergülle, hoch homogenisiert, ohne Strohanteile. Diese Gülle musste ein Sieb mit der Netzweite 0,75 x 0,75 mm passieren. Auch diese Eigenschaft diente dazu, den so genannten "schlimmstmöglichen Fall" abzudecken.

Weiterhin wurden folgende Eigenschaften gemessen:

- absolute Trockenmasse (TS): 3,9 %
- pH-Wert: 4,7

b) Jauche

Die Jauche für diese Versuche wurden ebenfalls durch die Versuchsstation der FAL geliefert, wobei die oben genannte Gülle genutzt wurde; aber zusätzlich musste diese Gülle 2 Stunden lang eine Zentrifuge passieren, um die Feststoffe herauszubringen. Diese Prozedur macht es möglich, die Versuche unter genau den gleichen Bedingungen jederzeit wiederholen zu können.

c) Wasser

Für die Versuche wurde normales Trinkwasser benutzt, wie es aus den Wasserhähnen der Braunschweiger Wasserversorgung kommt.

3.3.3 Messung des Stickstoffgehalts im Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Gülleerdbecken, das durch Betonbehälter ersetzt wurde

Im Jahre 1984 wurden in der Versuchsstation der FAL 2 mit Kunststoff ausgekleidete Erdbecken mit einer Kapazität von je 750 m³ gebaut; eine davon war auf der Baustelle geschweißt worden, die zweite war in der Fabrik vorfabriziert und dann auf die Baustelle transportiert worden. Beide Behälter wurden in strengster Anlehnung an die Regelungen des Bundeslandes Niedersachsen hergestellt, die als die umfassendsten zu der Zeit galten. Die Einzelheiten können Abb. 25 entnommen werden, welches die westliche der beiden kongruenten Behälter zeigt.

Das wichtigste Detail dieser Behälter ist das Drainagekontrollsystem, das aus den folgenden Teilen besteht:

- Bodenlage aus Kies, <3 mm, 35 cm stark und verdichtet,
- Kunststoffauskleidung mit PE-Folie, 0,8 mm stark, verschweißt,
- Kontrollrohre 100 mm Durchmesser, die in das Hauptkontrollrohr münden

- cover control tubes,
- Top layer of PE-lining, 2.0 mm thick.

- Feinkies mit Korngröße <3 mm, 100 mm die Kontrollrohre überdeckend,
- Deckschicht aus PE, 2,0 mm stark.

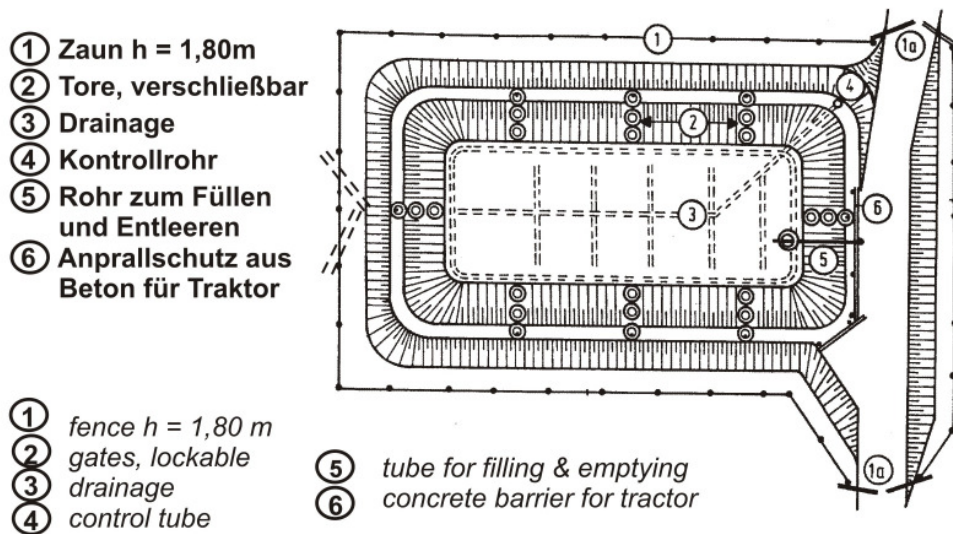


Abb. 25: Grundriss eines mit Kunststoff ausgekleideten Erdbeckens in der FAL
Plan of a plastic lined slurry lagoon in the FAL

The original plan was to use the slurry containers for a period of 15 years. At the time, there was no knowledge of the durability of plastic lined slurry containers. After they have been used for a period of 17 years both containers were taken out of ground in Nov./Dec. 2001 to be replaced by a concrete slurry container. This gave the chance for measurements in the soil to see whether there was a contamination from ammonium. After the whole containers including the control system were taken out of the ground, three control drillings were made in the left upper edge of the former western container (Fig. 26).

The plan was to bring the control drills down to a depth of 1.0 m each, but the compressed ground layer of gravel proved to be too hard. This was why the maximum depth of the control drillings was reduced to 0.80 m each. Samples of the soil were taken every 20 cm using a probe drill (Fig. 27).

These parameters were measured: depth in cm, dry matter content in %, $\text{NO}_3\text{-N}$ in kg ha^{-1} , $\text{NH}_4\text{-N}$ in kg ha^{-1} , $\Sigma \text{N}_{\text{min}}$ in kg ha^{-1} and the total amount of N in 80 cm depth. The analyses were carried out in the laboratory of the Institute of Plant Production of the Agricultural Centre in Braunschweig, Germany, in December 2001.

Ursprünglich war die Nutzung dieser Güllebehälter für 15 Jahre vorgesehen. Zu der Zeit gab es noch keine Erfahrungen über die Dauerstandfestigkeit von mit Kunststoff ausgekleideten Gülleerdbeckens. Nachdem sie 17 Jahre lang genutzt worden waren, wurden sie im November/Dezember 2001 ausgebaut, um durch einen großen Stahlbetonbehälter ersetzt zu werden. Dies lieferte die Möglichkeit Bodenuntersuchungen durchzuführen, um eine mögliche Kontamination mit Ammoniak festzustellen. Nachdem die gesamten Behälter einschließlich ihres Kontrollsystems ausgebaut worden waren, wurden 3 Probebohrungen in der linken, oberen Ecke des ehemals westlichen Beckens vorgenommen (Bild 26).

Ursprünglich war vorgesehen, die Probebohrungen bis zu einer Tiefe von 1,0 m zu bringen, jedoch erwies sich der verdichtete Baugrund aus Kies als zu hart. Aus diesem Grunde wurden die Probebohrungen nur 0,80 m tief ausgeführt. Alle 0,20 m wurde eine Probe genommen (Bild 27).

Folgende Parameter wurden gemessen: Tiefe in cm, Trockenmassegehalt in %, $\text{NO}_3\text{-N}$ in kg ha^{-1} , $\text{NH}_4\text{-N}$ in kg ha^{-1} , $\Sigma \text{N}_{\text{min}}$ in kg ha^{-1} und der Stickstoffgehalt bis in 0,80 m Tiefe insgesamt. Die Analysen wurden im Labor des Instituts für Pflanzenbau an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig im Dezember 2001 durchgeführt.

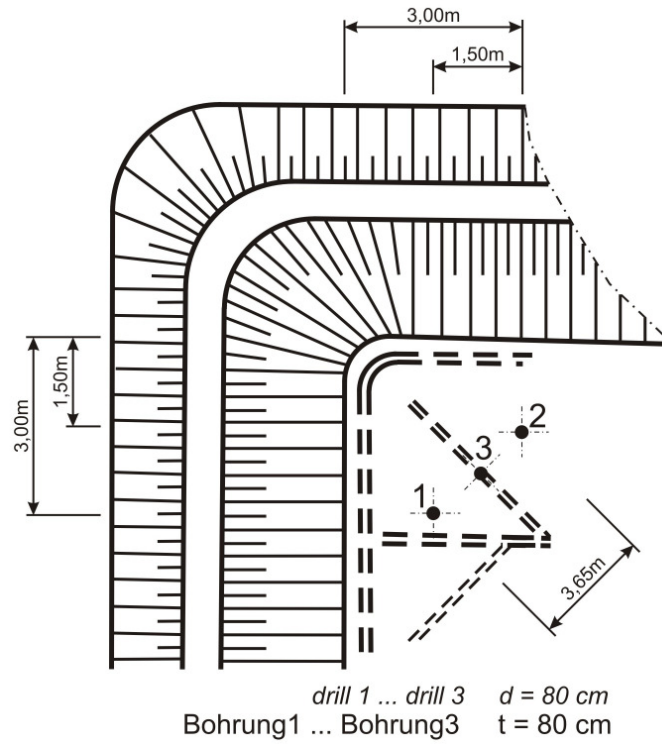


Abb. 26: Lage der Kontrollbohrungen
Position of the control drills



Abb. 27: Ausrüstung für Probenentnahme
Probe drill equipment

4 Results

4.1 Experiments on the "tightness" of concrete slurry containers

4.1.1 Experiments with periods of 72 hours and 0.5 N mm⁻² pressure

A general overview of the results of the experiments dealing with the "tightness" of concrete under pressure with slurry and water is given in Table 4.

Tab. 4: Matrix der Versuche zur technischen Sicherheit von Stahlbeton-Güllebehältern
Matrix of tests "technical safety of concrete slurry containers"

| Beton-hersteller/ Concrete Manufacturer | Probe Nr./ Sample No. | Betonart/ Klassifizierung Kind of concrete/ classification | Eindringtiefe/Penetration depth | | | |
|---|--------------------------|---|---------------------------------|----|-----------------------|----|
| | | | mit Wasser/with water | | mit Gülle/with slurry | |
| | | | x | Ø | x | Ø |
| | | | mm | | mm | |
| L | 1 - 3 | 41430.F | 33; 19; 15 | 22 | - | - |
| | 4 - 6 | B25 | - | - | 0; 18; 16 | 11 |
| | 7 - 9 | 61433.F | 17; 20; 22 | 20 | - | - |
| | 10 - 12 | B35 | - | - | 10; 5; 10 | 8 |
| | 13 - 15 | 41430.F | 17; 27; 16 | 20 | - | - |
| W | 16 - 18 | B25 | - | - | 11; 15; 7 | 11 |
| | 19 - 21 | 61433.F | 15; 18; 13 | 15 | - | - |
| | 22 - 24 | B35 | - | - | 12; 11; 20 | 14 |

The minimum penetration depth was measured with slurry at a pressure of 0.5 N mm⁻² after a period of 72 hours, in concrete of quality B25. The results ranged from 0 (zero) to 18 mm. According to the demand of DIN 1045 ("Building with concrete") the average of three samples was calculated. The penetration with the same material of a better quality (B35) showed an average of 8 mm, which is 3 mm less. These results refer to the test blocks made by factory L.

The penetration depth after the pressure with water under the same conditions was higher, but also different as far as the concrete quality was. The range of penetration depths in B25 was from 15 to 33 mm, which results in an average of 22 mm, concerning factory L. The results of the test blocks from factory M were rather similar: the average was 20 mm, which is just 2 mm less; at a range of 16 to 27 mm.

The comparison of the two concrete qualities showed very similar penetration depths. There was one exception only, the samples 19 to 21 showed an unusually deep penetration. This was why these samples were carefully inspected. It was discovered that these samples had been moved before the prescribed hardening period had ended, which had caused slits. As a result, the samples 19 to 27 were no longer considered, and the tests were repeated.

4 Ergebnisse

4.1 Versuche über die "Dichtheit" von Güllebehältern aus Beton

4.1.1 Versuche mit 72 Stunden bei 0,5 N mm⁻² Druck

Eine allgemeine Übersicht über die Ergebnisse der Versuche über die "Dichtheit" von Beton unter Druck mit Gülle und Wasser ist in Tabelle 4 dargestellt.

Die geringste Eindringtiefe wurde bei Gülle und einem Druck 0,5 N mm⁻² nach 72 Stunden gemessen, in Beton der Festigkeitsklasse B25. Die Ergebnisse reichten von 0-18 mm. Entsprechend der Forderung von DIN 1045 (Bauen mit Beton) muss der Mittelwert aus 3 Proben berechnet werden. Die Eindringtiefe mit der gleichen Flüssigkeit jedoch Beton von besserer Qualität (B35), zeigte einen Mittelwert von 8 mm, was etwa 3 mm weniger ist. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Probekörper, die vom Hersteller L. geliefert worden waren.

Die Eindringtiefen nach Beaufschlagung mit Wasser unter sonst gleichen Bedingungen waren höher, jedoch auch verschieden mit Blick auf die Betonfestigkeiten. Die Spannweite der Eindringtiefen in B25 reichte von 15-33 mm, was ein Mittelwert von 22 mm ergibt, bezogen auf den Zulieferer L. Die Ergebnisse der Versuchsblöcke vom Zulieferer M waren sehr ähnlich: deren Mittelwert betrug 20 mm, was nur 2 mm weniger ist; bei einer Spannweite von 16-27 mm.

Der Vergleich der beiden Betonqualitäten zeigte sehr ähnliche Eindringtiefen. Es gab nur eine Ausnahme, die Probekörper 19-21 zeigten eine ungewöhnlich große Eindringtiefe. Nachdem diese Probekörper sorgfältig geprüft worden waren, ergab sich, dass sie während des vorgeschriebenen Auswertungsprozesses zu früh bewegt worden waren, was Schlitze verursacht hatte. Deswegen wurden die Probekörper 19-27 nicht weiter einbezogen, und deren Versuche wurden wiederholt.

A systematic combination of the results of the tests on the "tightness" of concrete (B25 and B35) against slurry and water under pressure is shown in fig. 28 to fig. 52. The bottom line of each figure shows the test number and indicates the company that produced the sample (for example Test L-1), the fluid used in the test (water or slurry), the concrete quality (B25 or B35), and the pressure.

To make comparisons easier, on each page the results of the test with water will be shown at the top of the page and the test with slurry at the bottom of the page. The absolute minimum of penetration is shown in test L-5 (fig. 31), which deals with slurry. The average penetration here is only 11 mm.

But if there is a certain condition in the test block affecting the composition of the concrete, maybe a piece of rock in the gravel, situated under the surface, there may be no penetration at all in this part of the section (test L-12, fig. 39). On the other hand there is a wide range of penetration depths with water that is between 15 and 33 mm. Both facts will be discussed in part "discussion" of this paper.

Eine systematische Verbindung der Versuchsergebnisse über die "Dichtheit" von Beton (B25 und B35) im Vergleich zu Gülle und Wasser unter Druck wird in den Abbildungen 28-52 dargestellt. Die untere Zeile der Schaubilder zeigt die Versuchsnummer und nennt den Hersteller, sowie welche Flüssigkeit in dem jeweiligen Versuch benutzt wurde, die Betonqualität (B25 oder B35) und den Druck.

Um Vergleiche zu erleichtern, wird auf jeder Seite das Ergebnis des entsprechenden Versuches mit Wasser in der oberen Hälfte und des Versuches mit Gülle in der unteren Hälfte gezeigt. Der Versuch L-5 zeigte den minimalen Wert, der in einem Versuch mit Gülle erreicht wurde. Hier beträgt die durchschnittliche Eindringtiefe nur 11 mm.

Wenn es jedoch spezielle Bedingungen gibt, die die Zusammensetzung des Probekörpers betrifft, z. B. ein größerer Stein im Kies, der sich direkt unter der Oberfläche befindet, wird in diesem Teil gar keine Eindringung zu beobachten sein (Versuch L-12, Abb. 39). Auf der anderen Seite jedoch gibt es bei den Versuchen mit Wasser eine große Spannweite der Eindringtiefen zwischen 15 und 33 mm. Beide Faktoren werden im Teil "Diskussionen" dieser Arbeit besprochen.

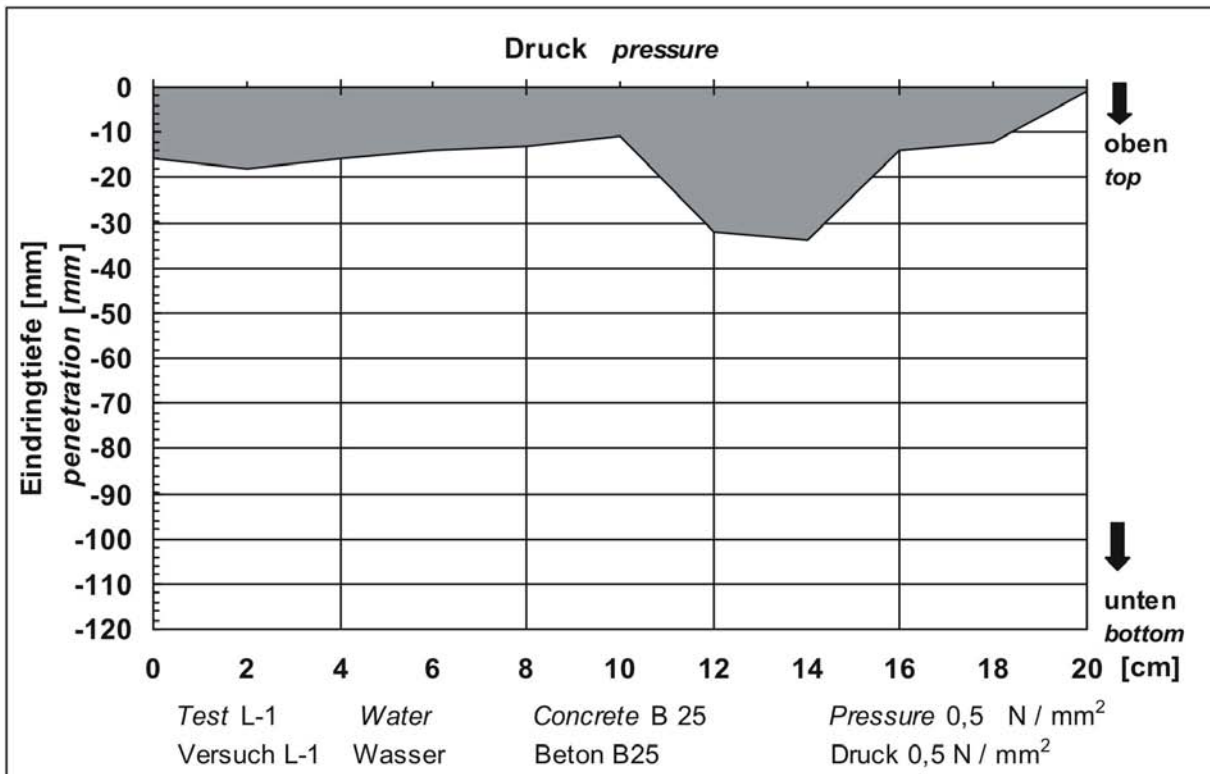


Abb. 28: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
Test on the penetration of water into concrete

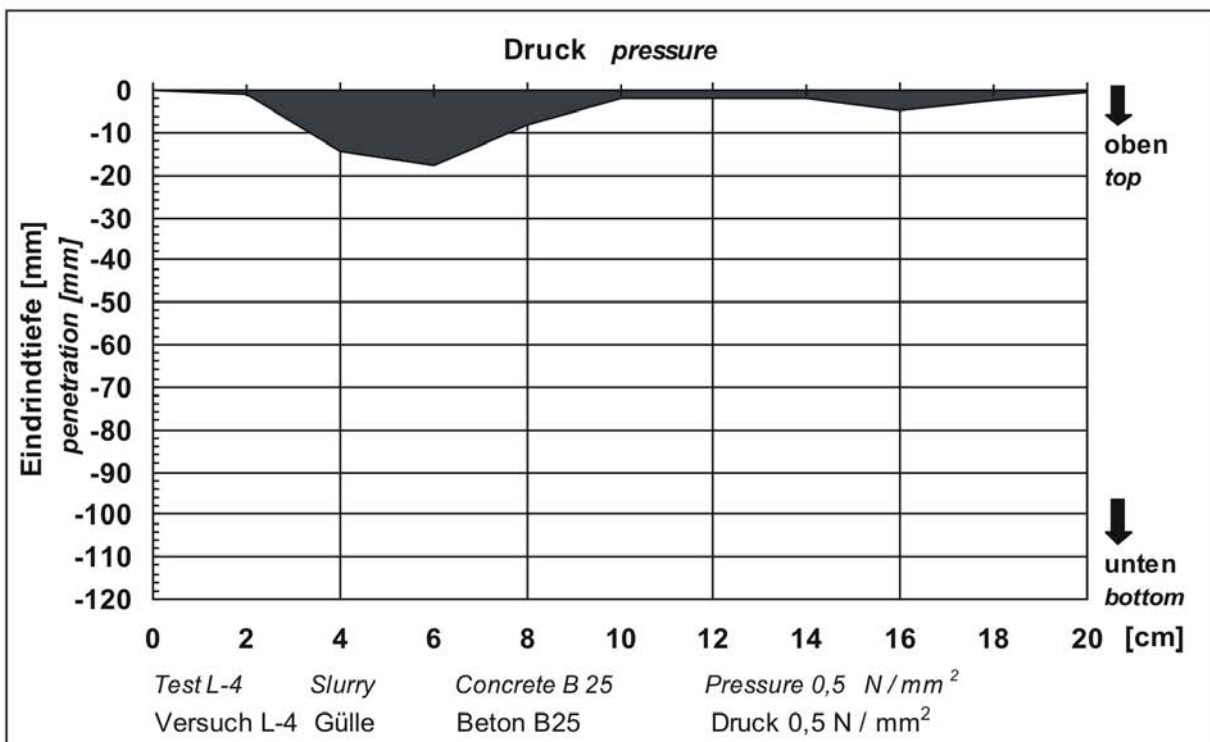


Abb. 29: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
Test on the penetration of slurry into concrete

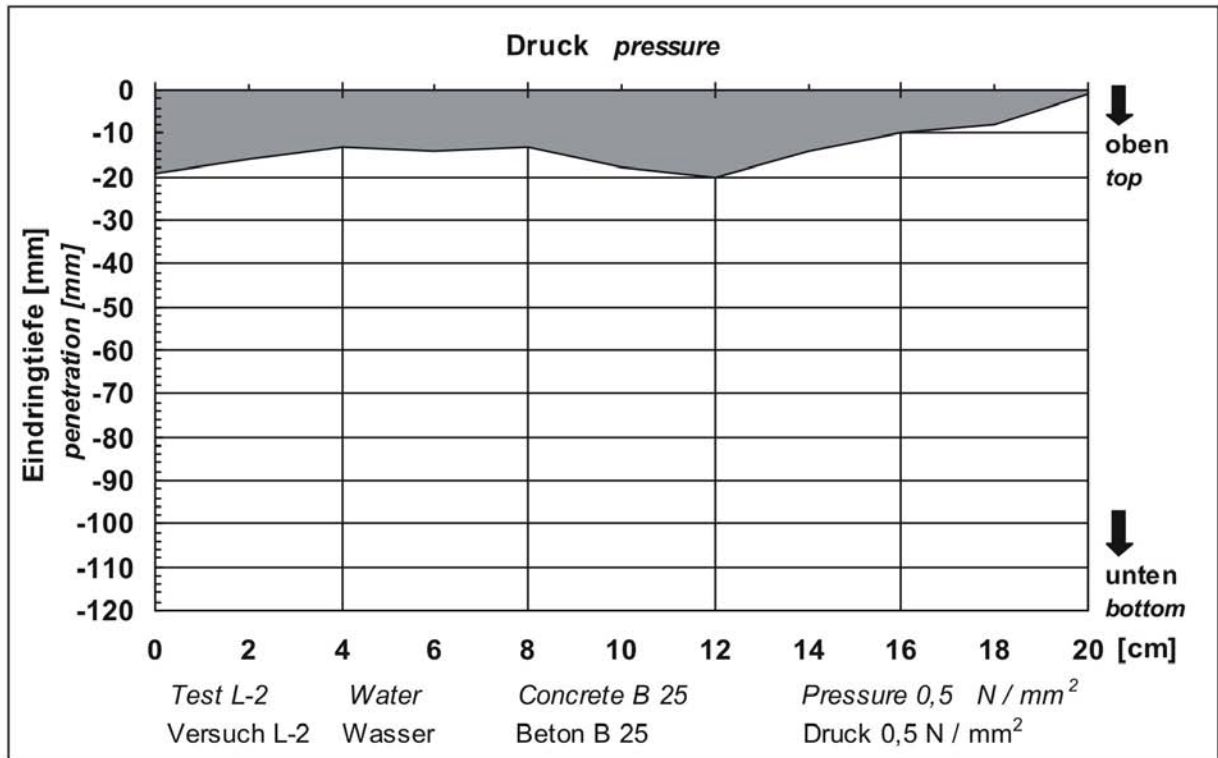


Abb. 30: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

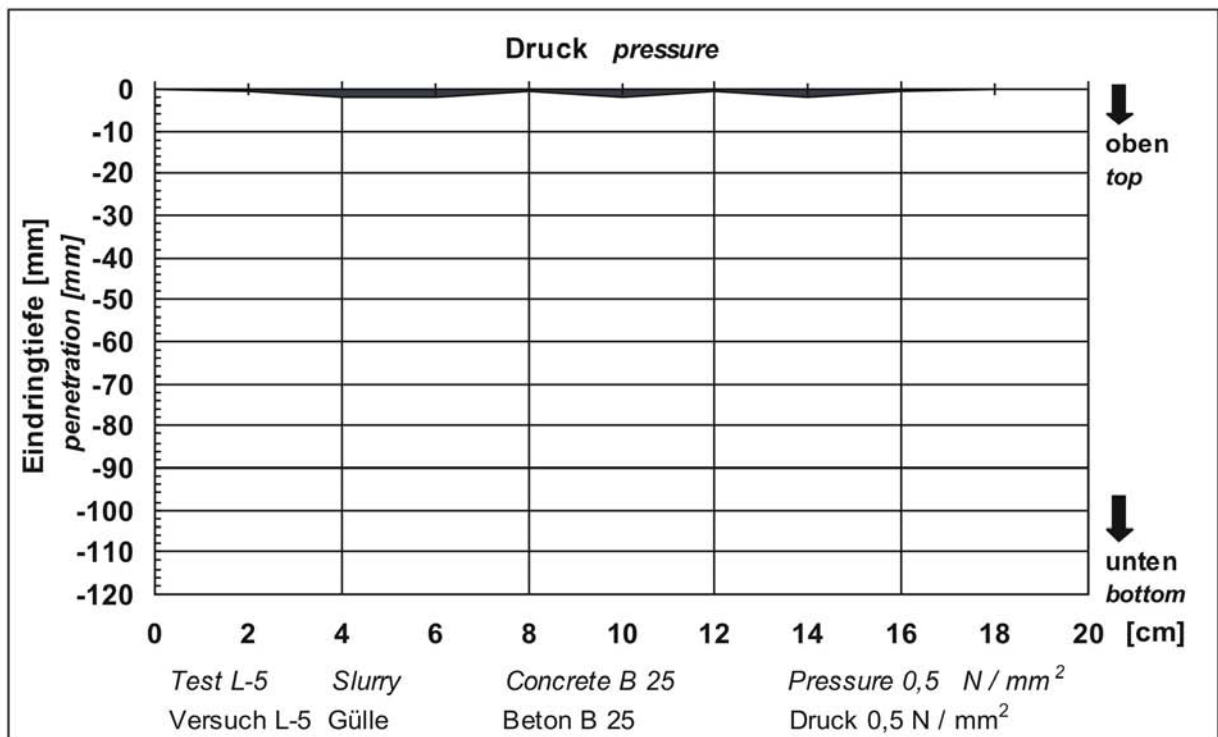


Abb. 31: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

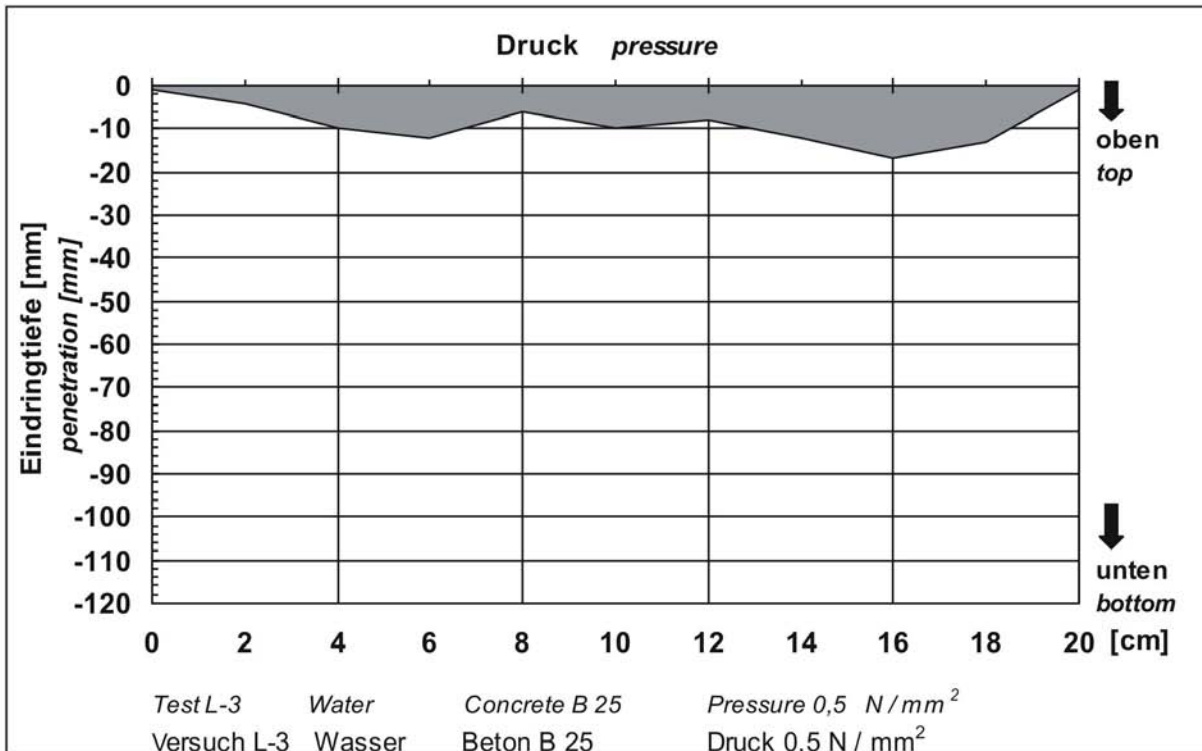


Abb. 32: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
Test on the penetration of water into concrete

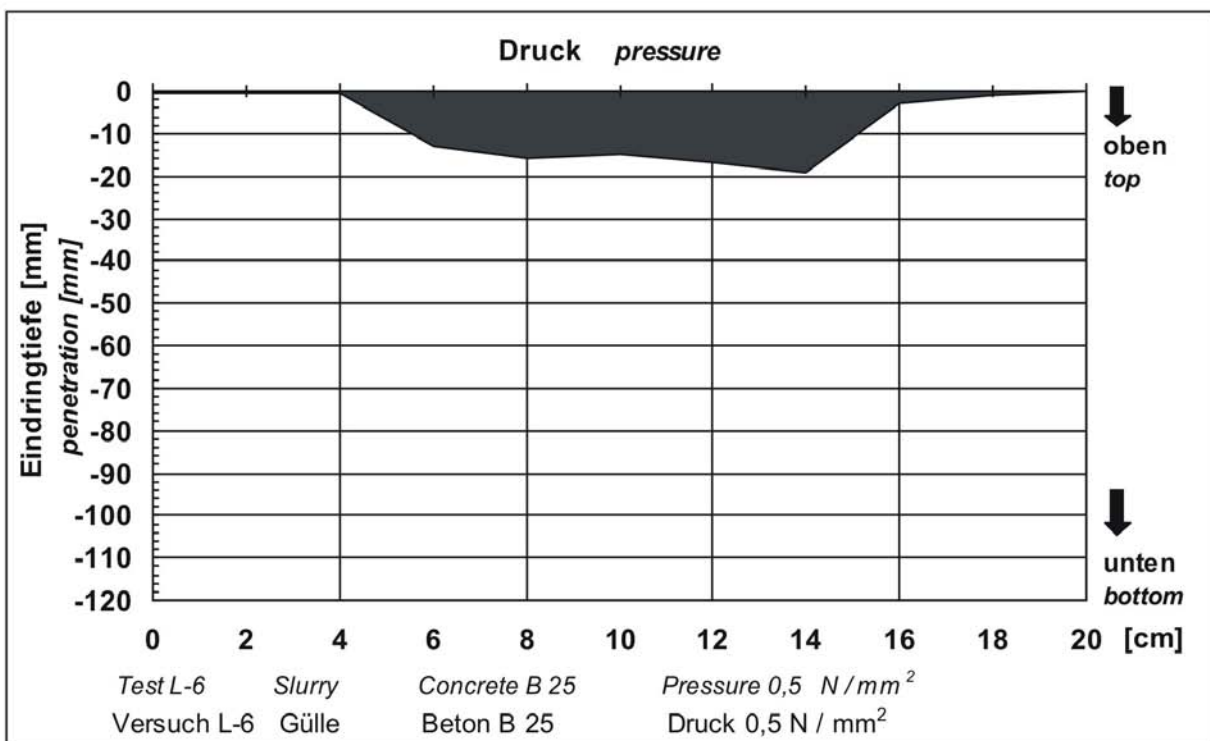


Abb. 33: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
Test on the penetration of slurry into concrete

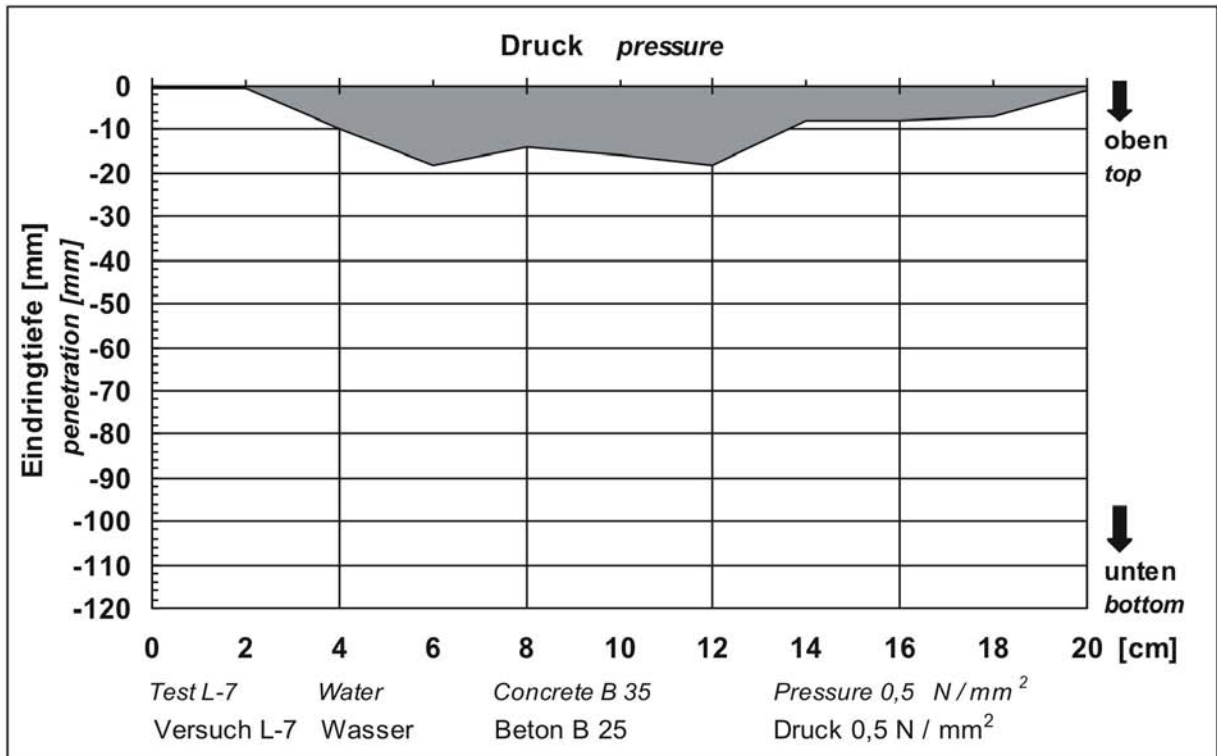


Abb. 34: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

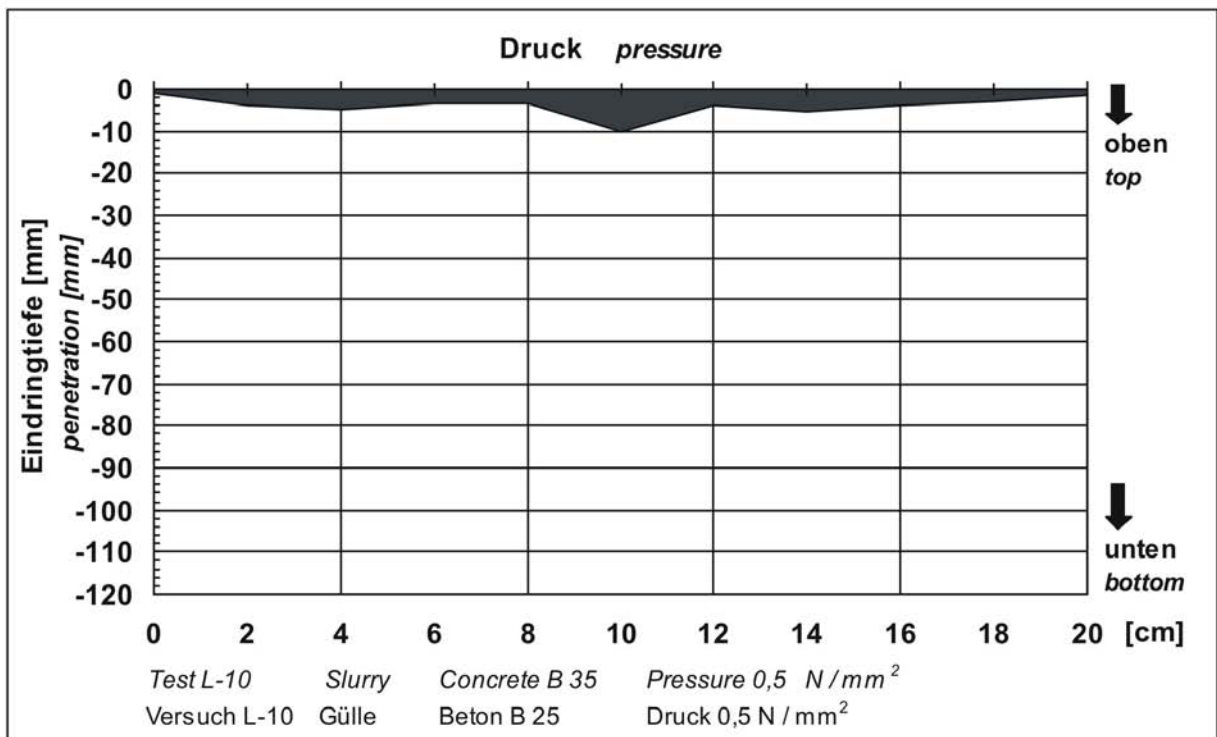


Abb. 35: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

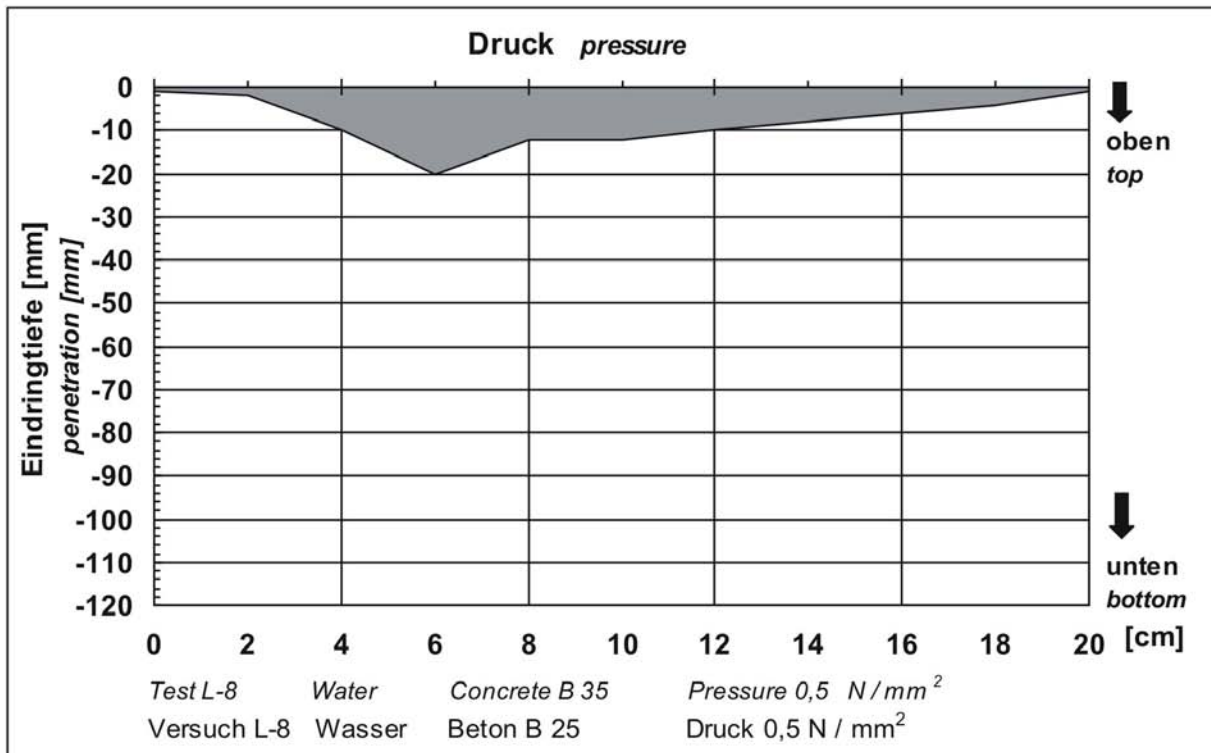


Abb. 36: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

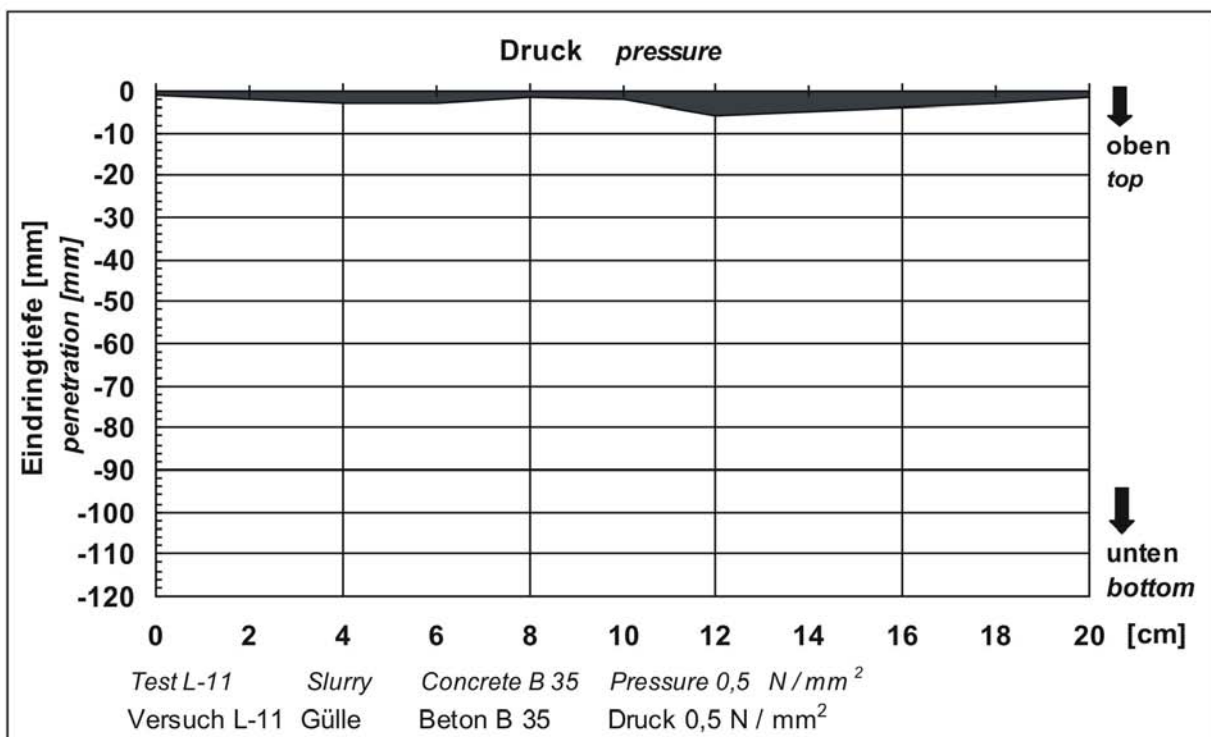


Abb. 37: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

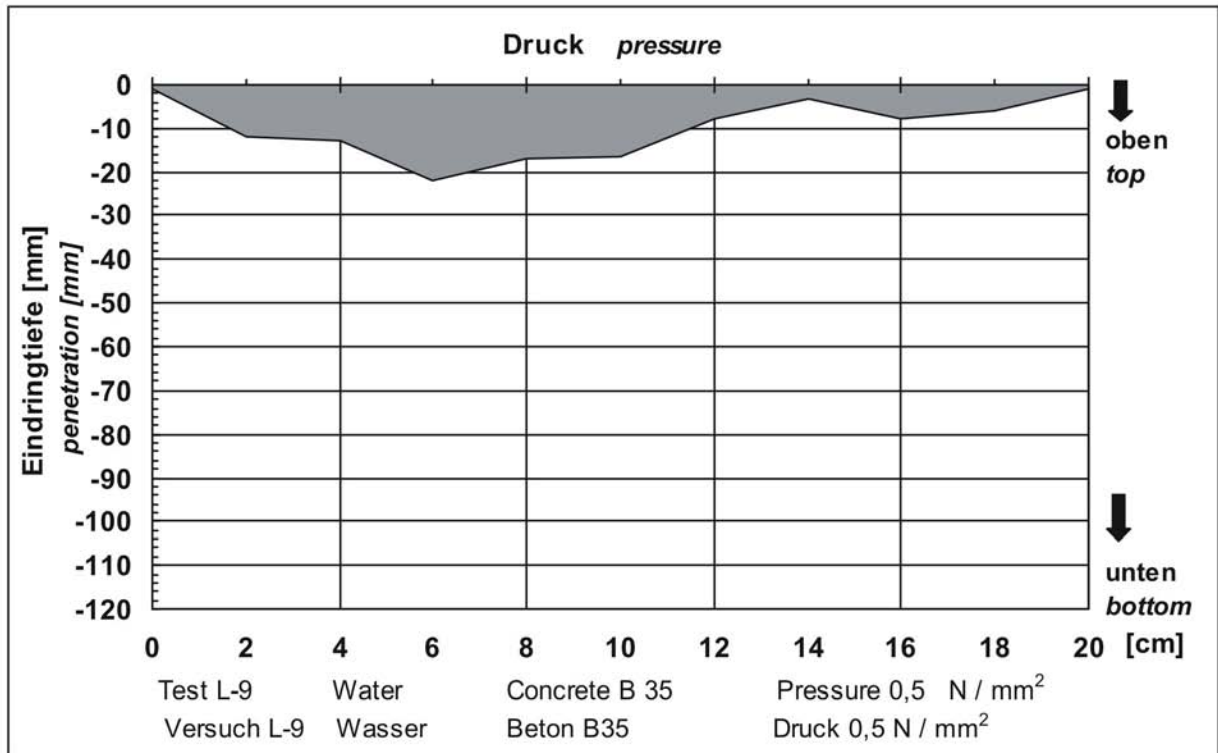


Abb. 38: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

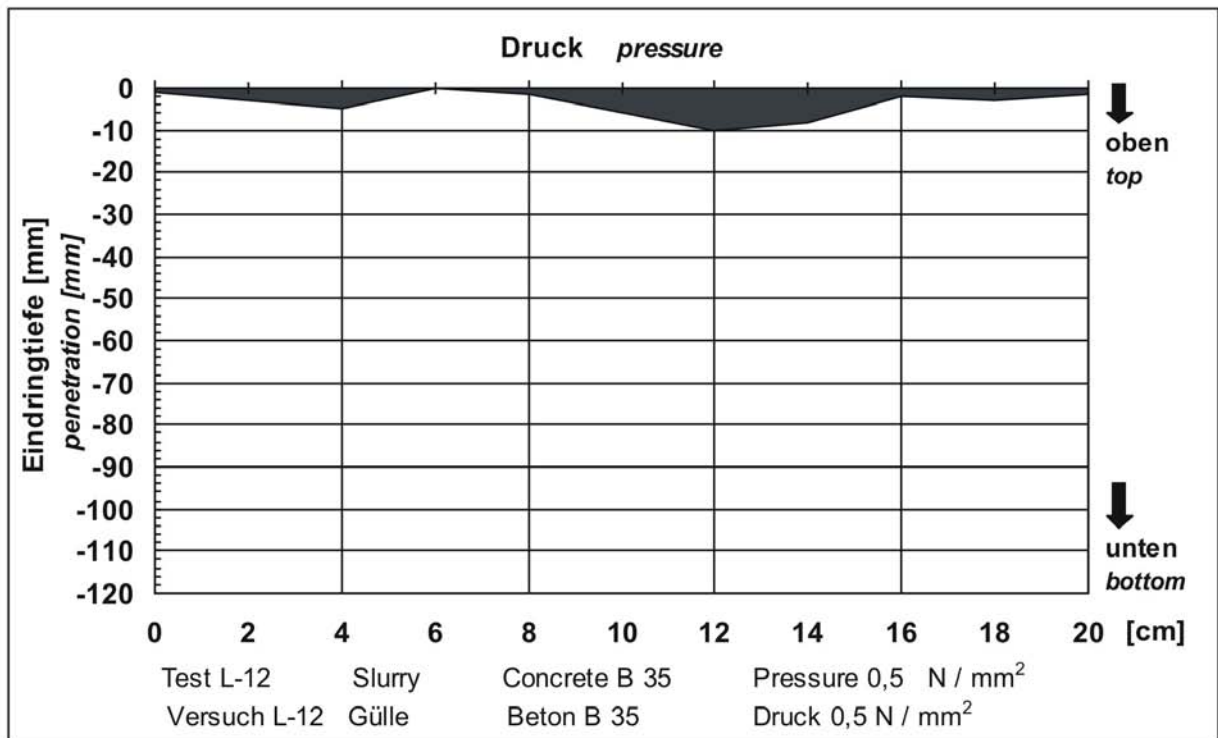


Abb. 39: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

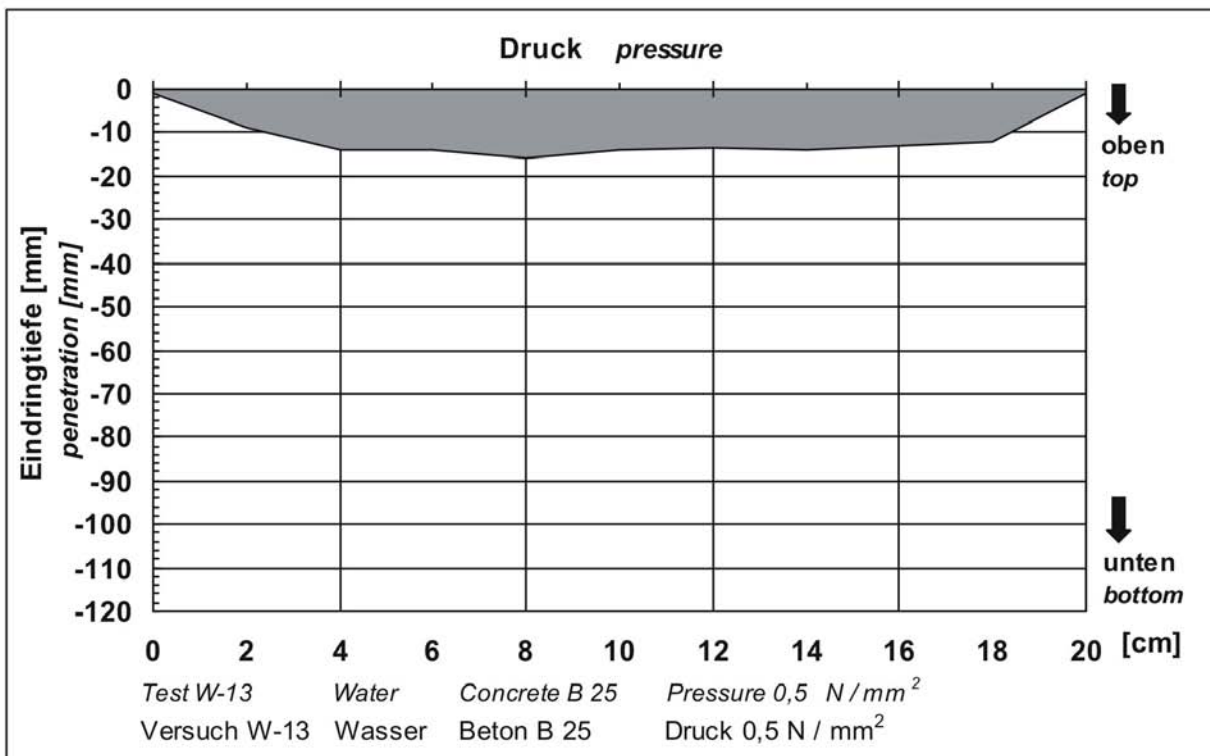


Abb. 40: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

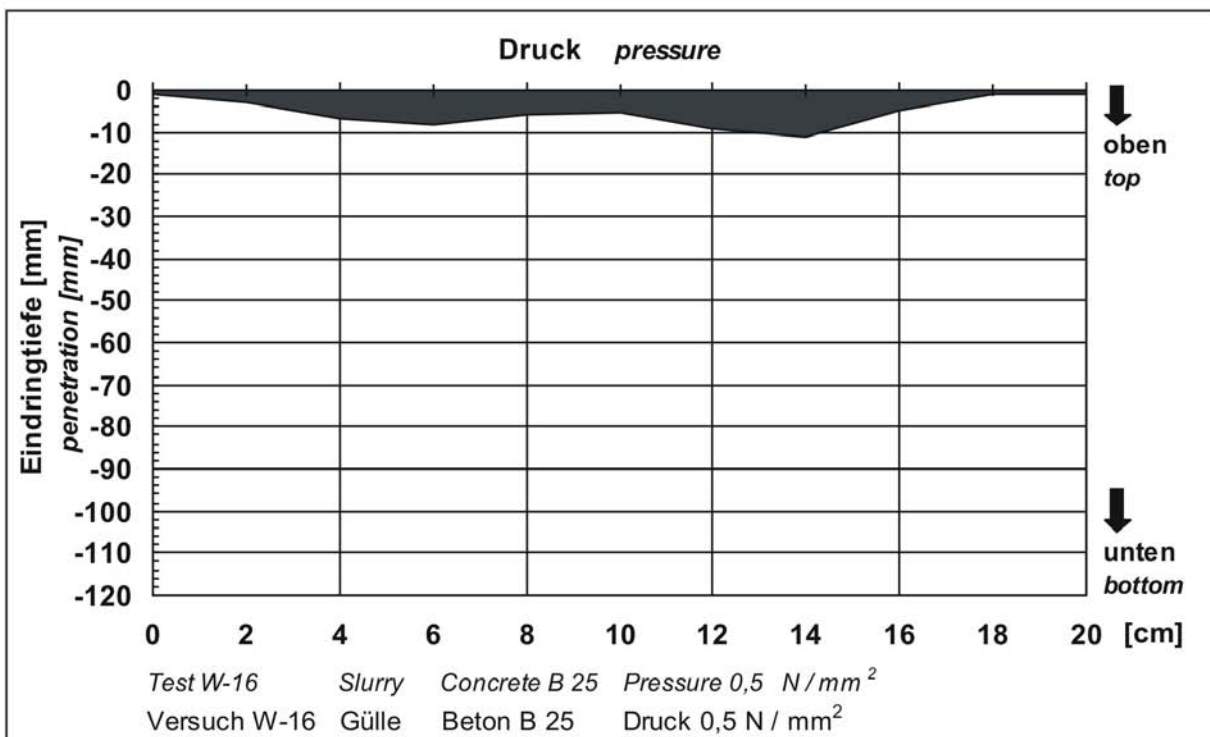


Abb. 41: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

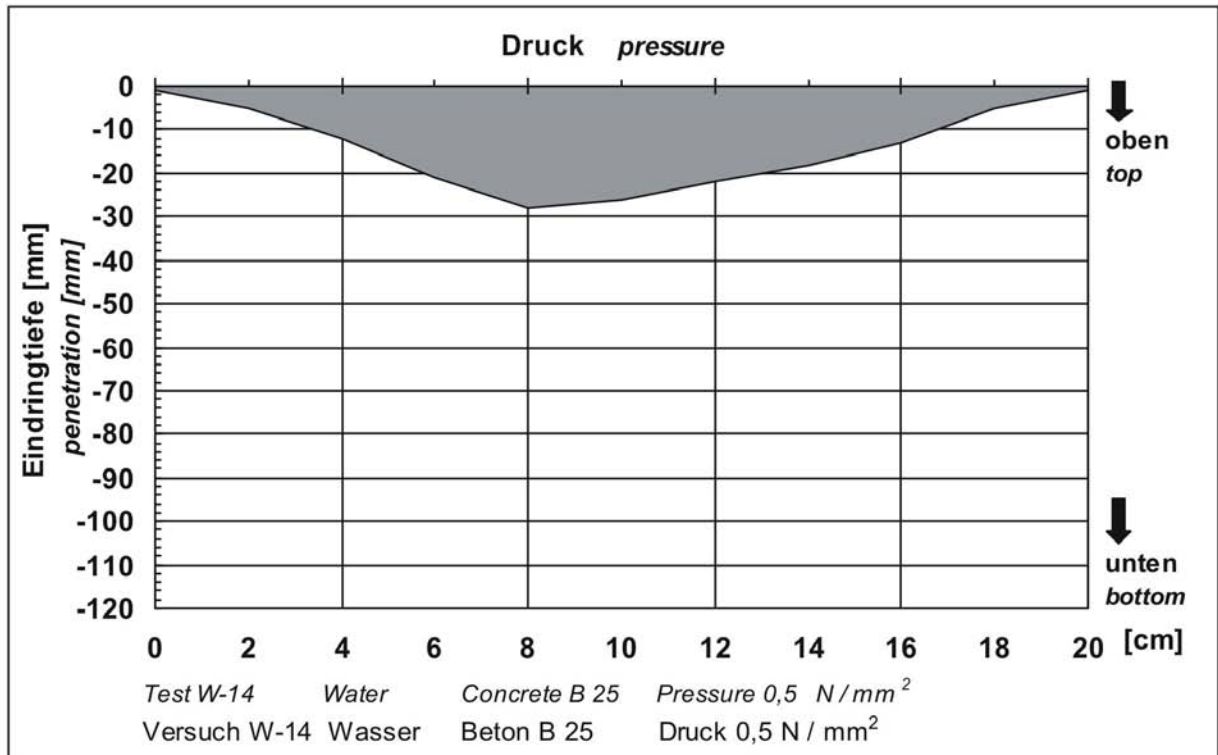


Abb. 42: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

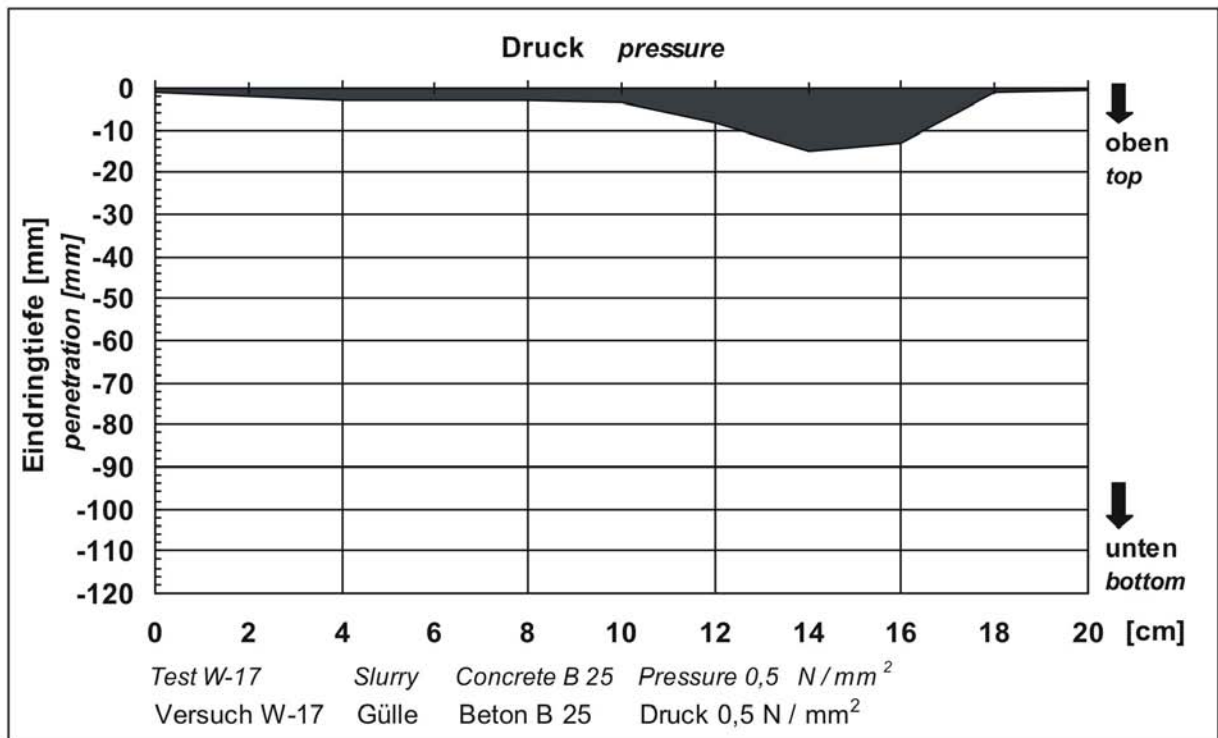


Abb. 43: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

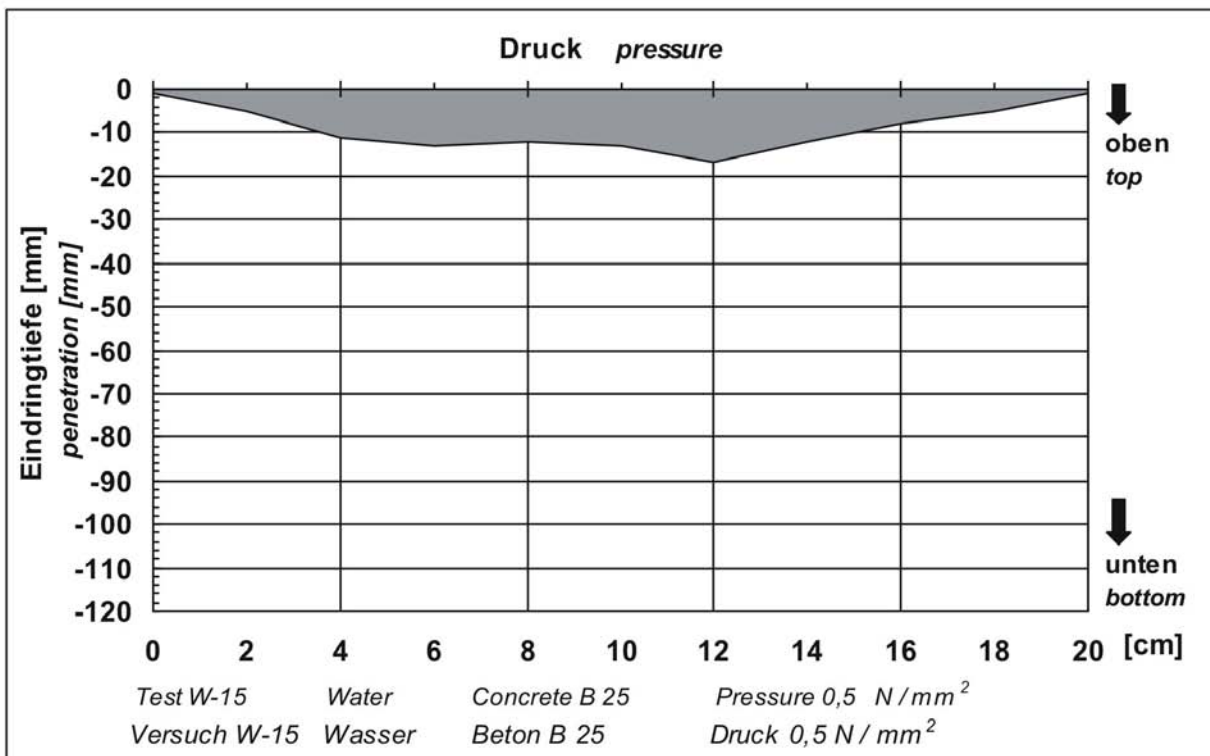


Abb. 44: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

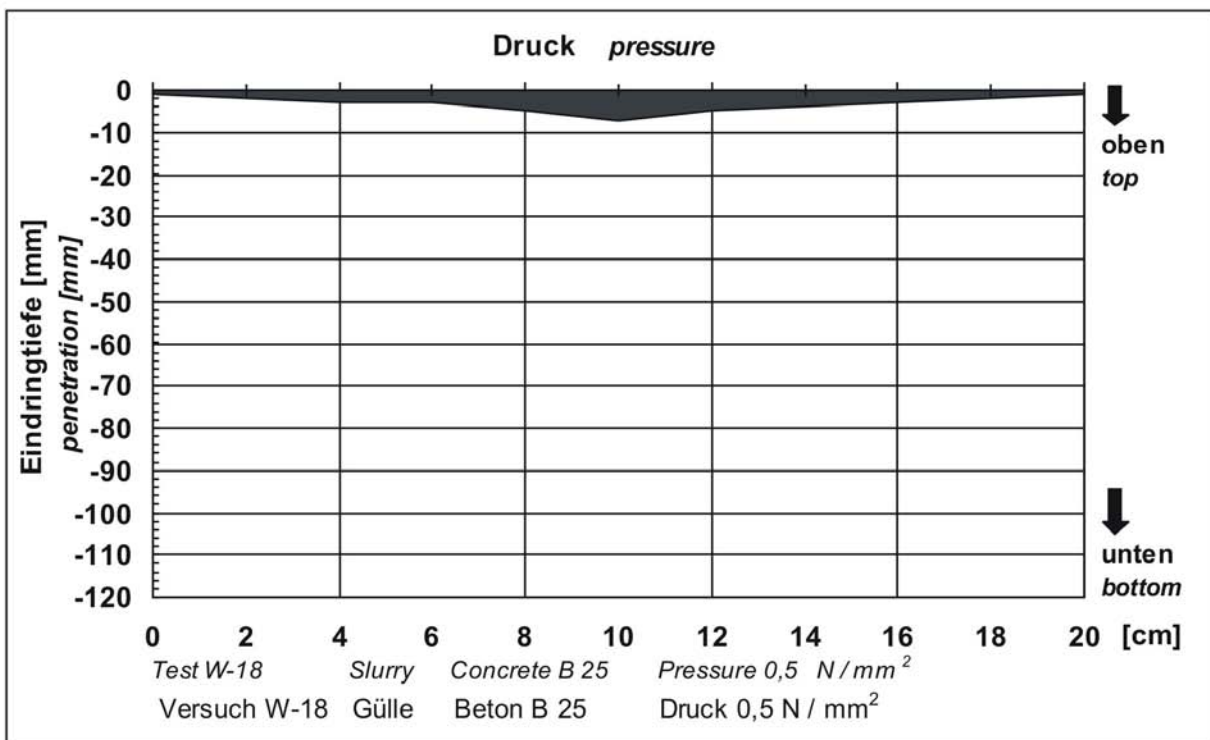


Abb. 45: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

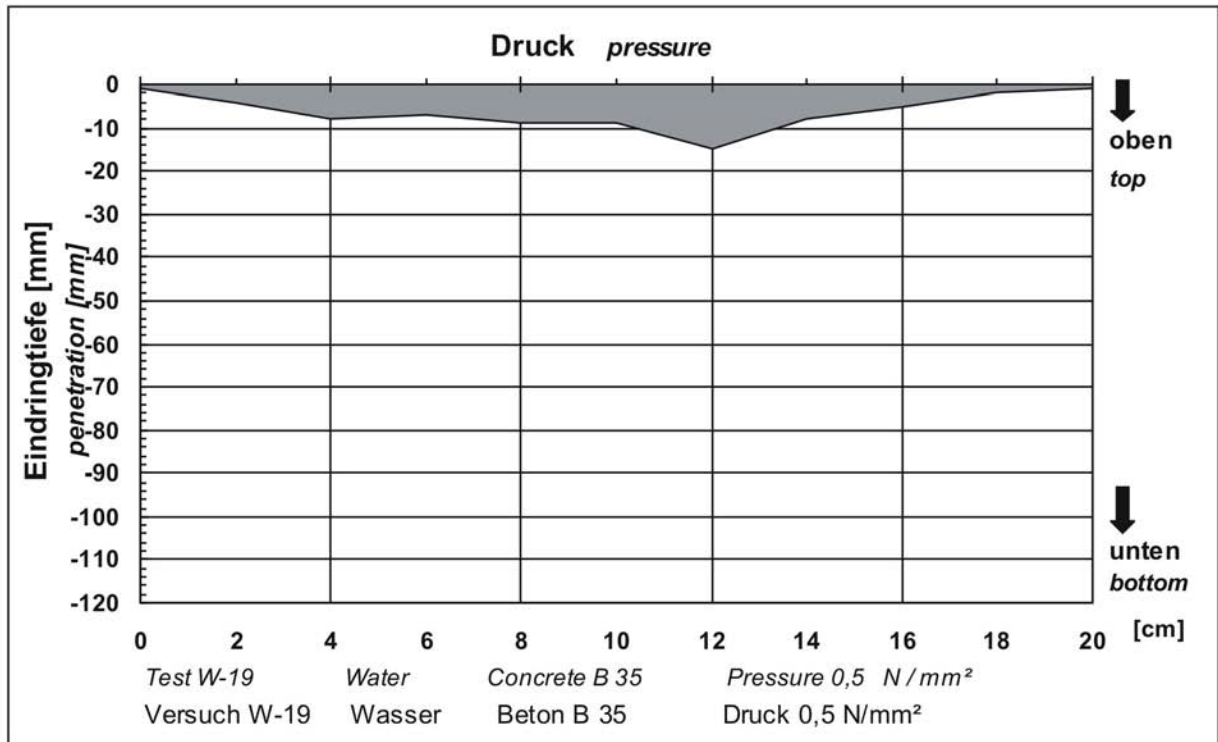


Abb. 46: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
Test on the penetration of water into concrete

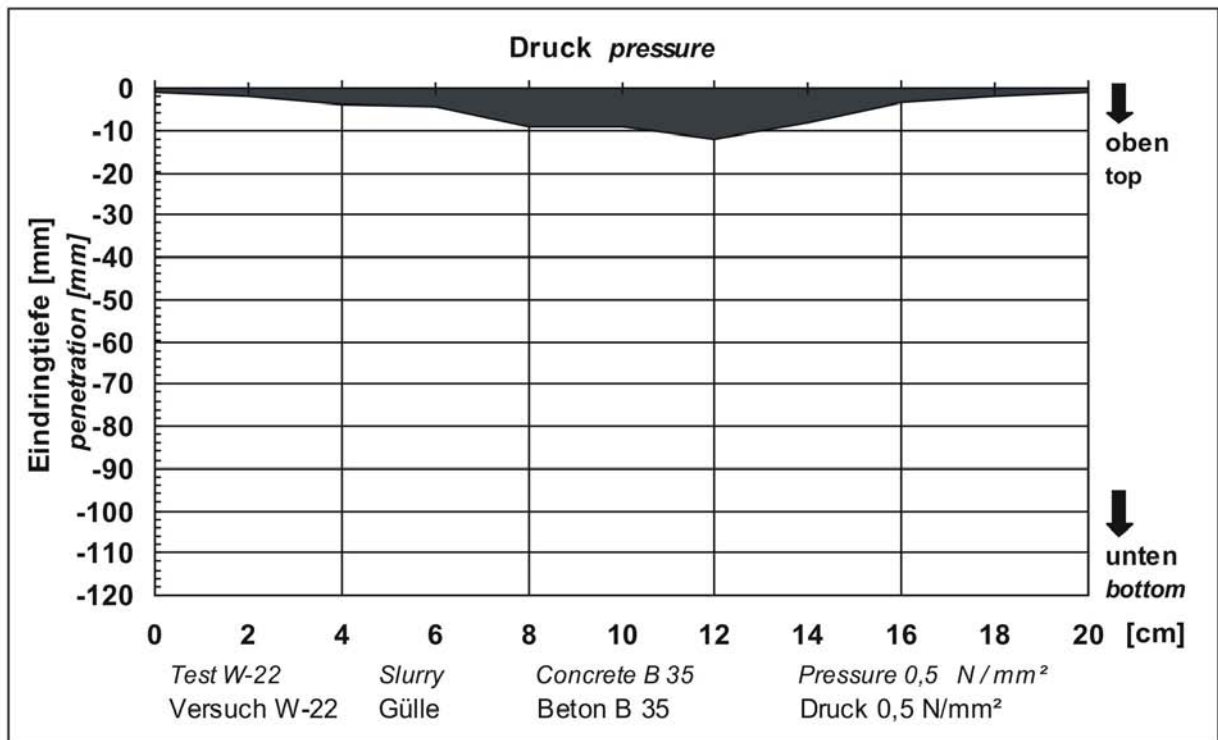


Abb. 47: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
Test on the penetration of slurry into concrete

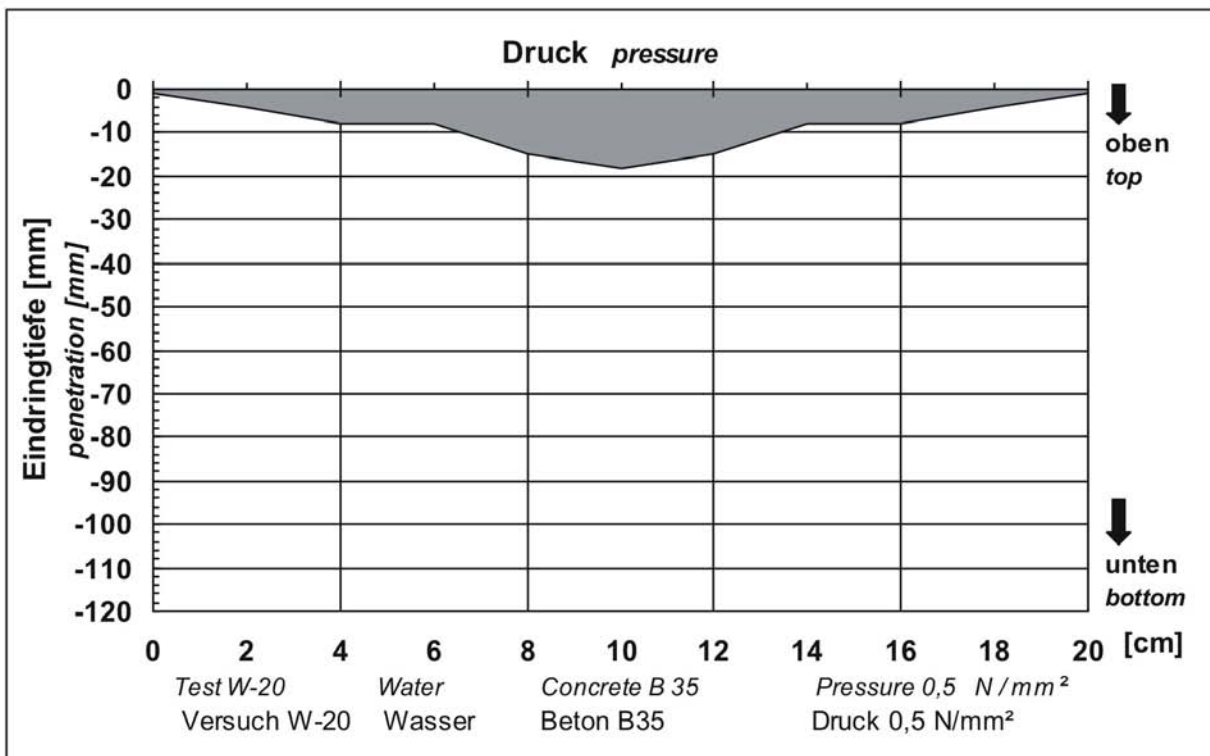


Abb. 48: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

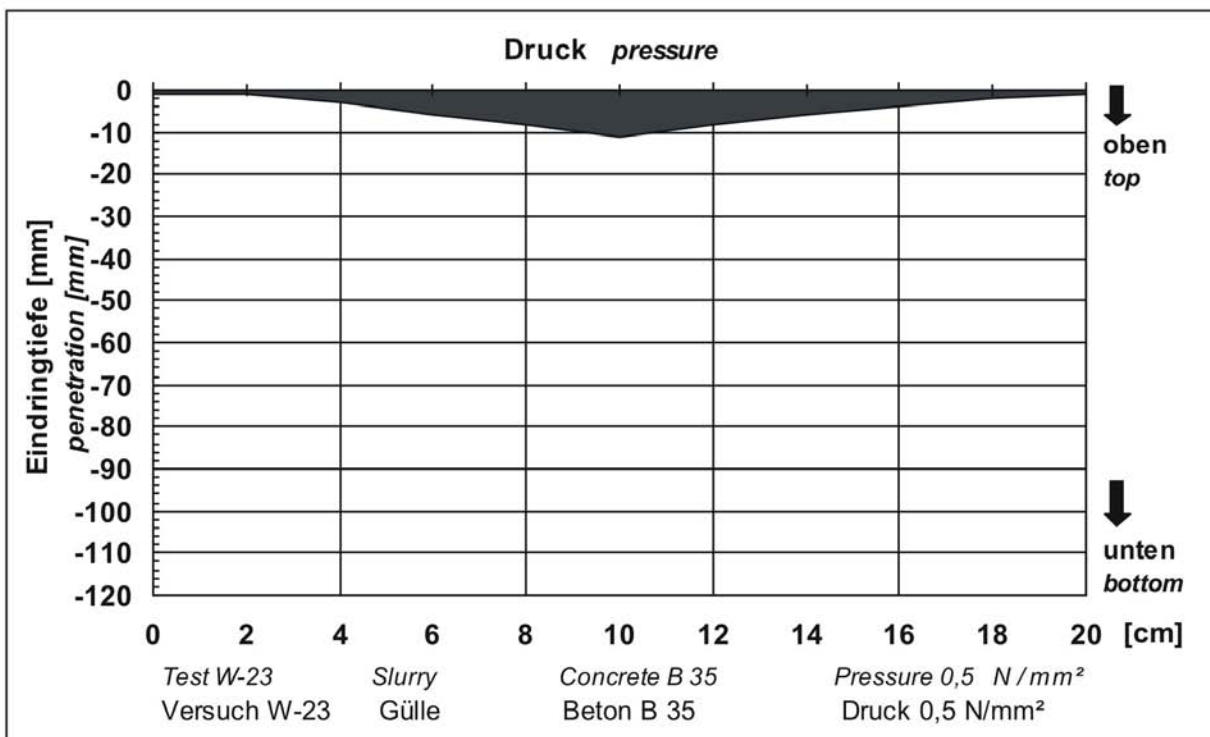


Abb. 49: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

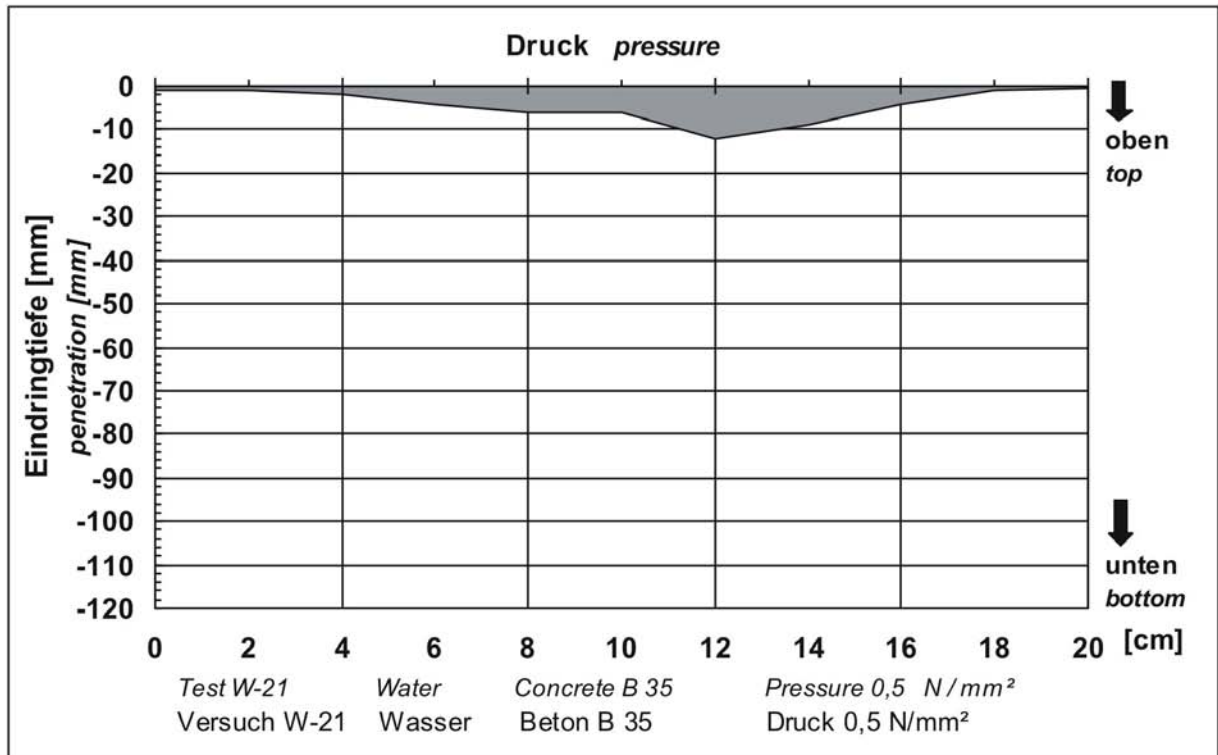


Abb. 50: Versuch über das Eindringen von Wasser in Beton
 Test on the penetration of water into concrete

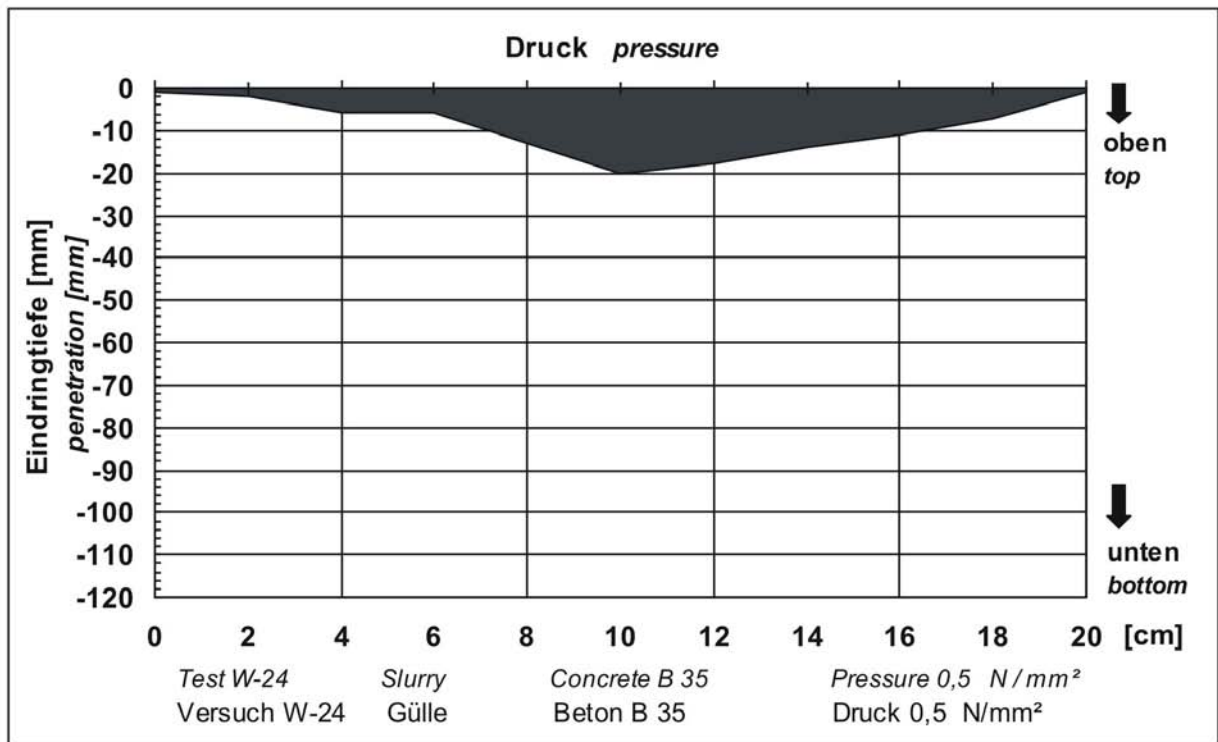


Abb. 51: Versuch über das Eindringen von Gülle in Beton
 Test on the penetration of slurry into concrete

4.1.2 Experiments with 14, 28 and 35 days periods and 0.05 N mm⁻² pressure

To decide the question, whether there is an influence on penetration by time, and if so, how this will show, tests with slurry, liquid manure and water and test periods of 14, 28 and 35 days were run. In so far, these tests do not refer to the test regulation in DIN 1045, where periods of 72 hours precisely are demanded.

Liquid manure, as described before, was introduced into the test as an effluent with technical qualities different from those of water and slurry: its consistency is more slim than that of slurry, but not as slim as that of water.

The results of these tests are shown as Fig. 52 to Fig. 78 as follows. To give a compiled overview, Table 5 shows the maximum penetration depth of water, liquid manure and slurry into concrete test blocks of quality B25 WU after the a.m. periods of time.

4.1.2 Versuche über 14, 28 und 35 Tagen bei 0,05 N mm⁻² Druck

Um die Frage zu entscheiden, ob es einen Langzeiteinfluss auf die Eindringtiefen hat, und falls das der Fall ist, wie sich dieser darstellt, wurden Versuche mit Gülle, Jauche und Wasser mit den Versuchsdauern 14, 28 und 35 Tagen ausgeführt. Dieses Vorgehen entspricht nicht der DIN 1045, welche strikt 72 Stunden Bauaufschlagungszeit vorschreibt.

Jauche, wie zuvor beschrieben, wurde in die Versuche eingeführt als Vergleichsflüssigkeit mit anderen Eigenschaften als Wasser oder Gülle: ihre Konsistenz ist dünner als die von Gülle, jedoch nicht so dünn wie die von Wasser.

Die Ergebnisse dieser Versuche werden in den Abbildungen 52-78 wie folgt gezeigt. Um einen Überblick zu geben, zeigt Tabelle 5 die maximalen Eindringtiefen von Wasser, Jauche und Gülle in Betonprobekörper der Qualität B25 WU nach den oben genannten Zeitspannen.

Tab. 5: Maximale Eindringtiefe $e_{t_{max}}$ von Wasser, Jauche und Gülle in Beton B25 WU (Druck: 0,05 N mm⁻²)
Maximum penetration depth $e_{t_{max}}$ of water, liquid manure and slurry into concrete B25 WU (pressure 0.05 N mm⁻²)

| Spezifizierung Specifications | Maximale Eindringtiefe in mm Maximum penetration depth in mm | | | | | |
|----------------------------------|---|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| | 14 Tage/14 days | | 28 Tage/28 days | | 25 Tage/35 days | |
| | x | Ø | x | Ø | x | Ø |
| mit Wasser with water | 3; 5; 5 | 4,5 | 4; 5; 6 | 5,0 | 4; 6; 8 | 6,0 |
| mit Jauche with liquid manure | 4; 4; 4 | 4,0 | 4; 4; 5 | 4,3 | 4; 5; 6 | 5,0 |
| mit Gülle with slurry | 3; 3; 4 | 3,3 | 3; 3; 4 | 3,3 | 3; 4; 4 | 3,7 |

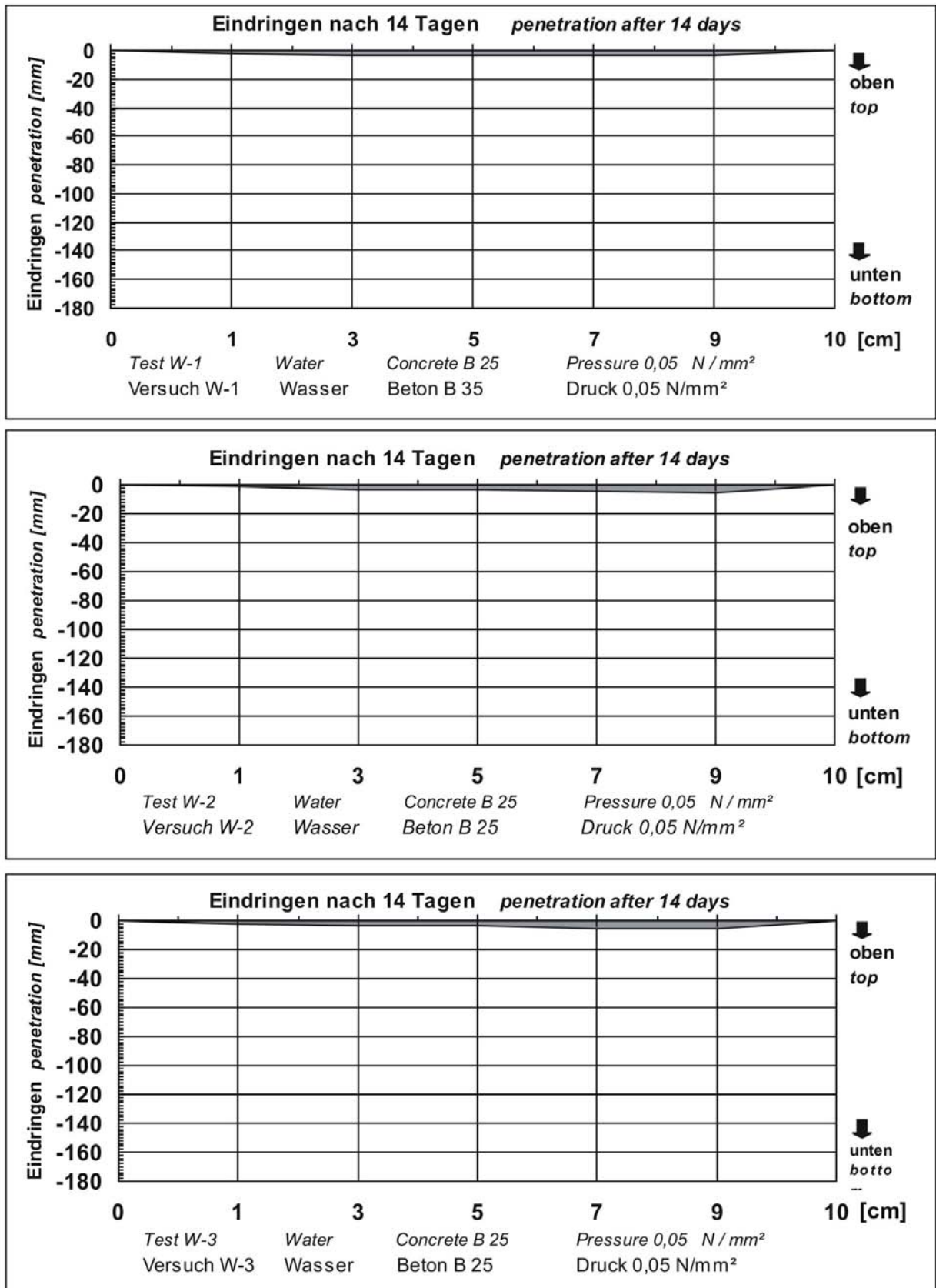


Abb. 52-54: Versuche über das Eindringen von Wasser in Beton nach 14 Tagen
 Test on the penetration of water into concrete, after 14 days

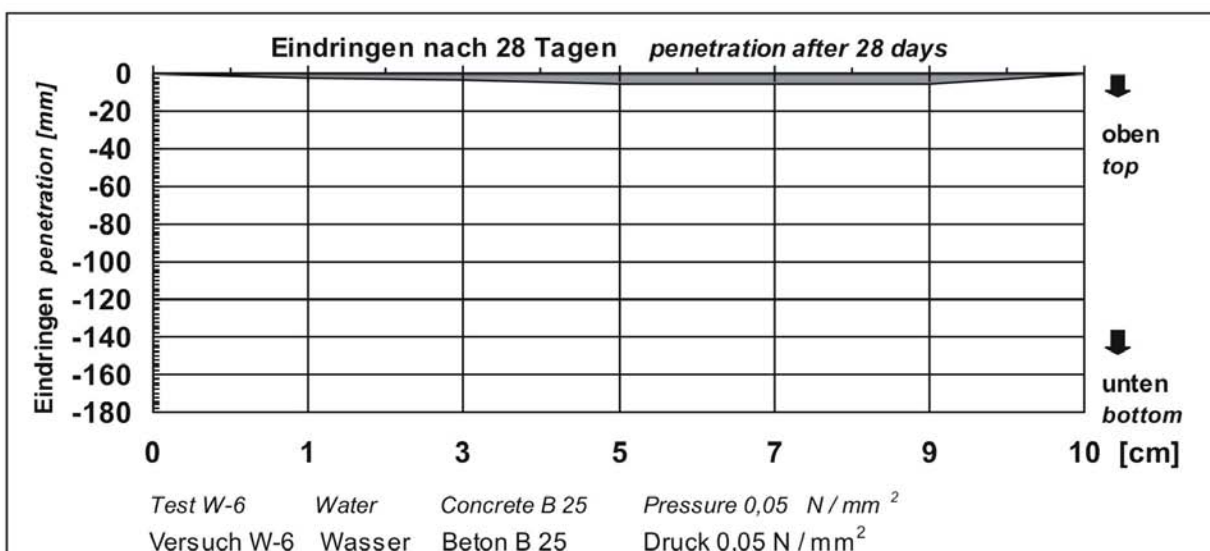
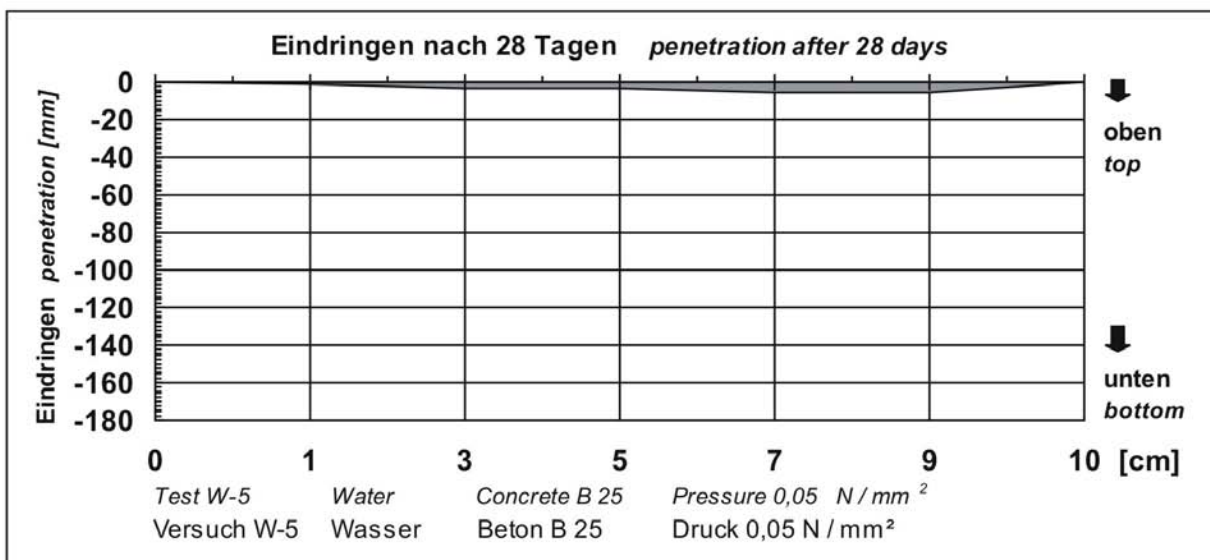
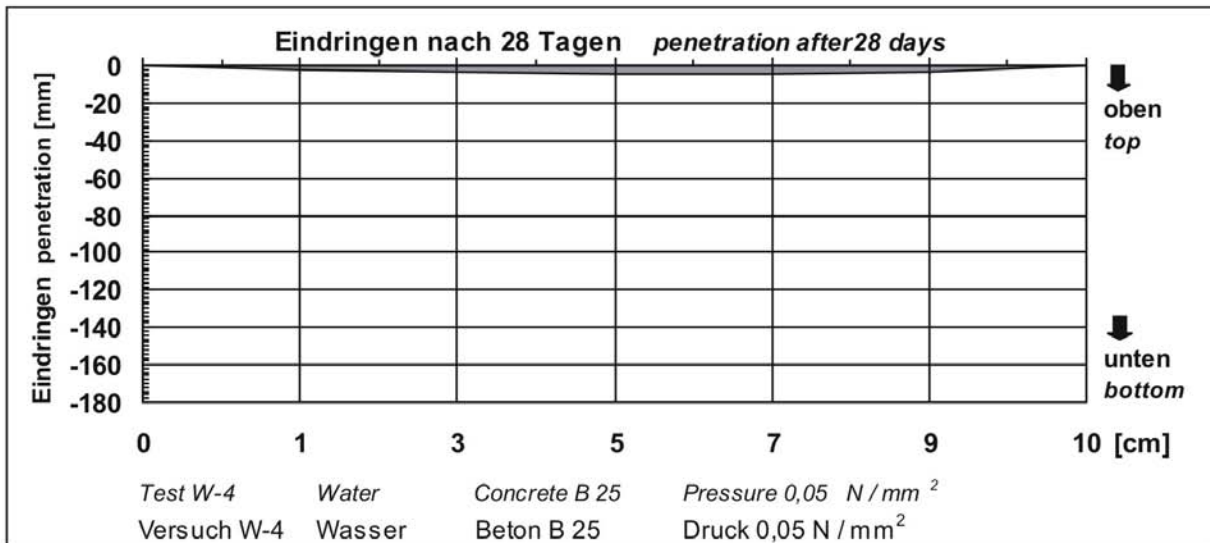


Abb. 55-57: Versuche über das Eindringen von Wasser in Beton nach 28 Tagen
Test on the penetration of water into concrete, after 28 days

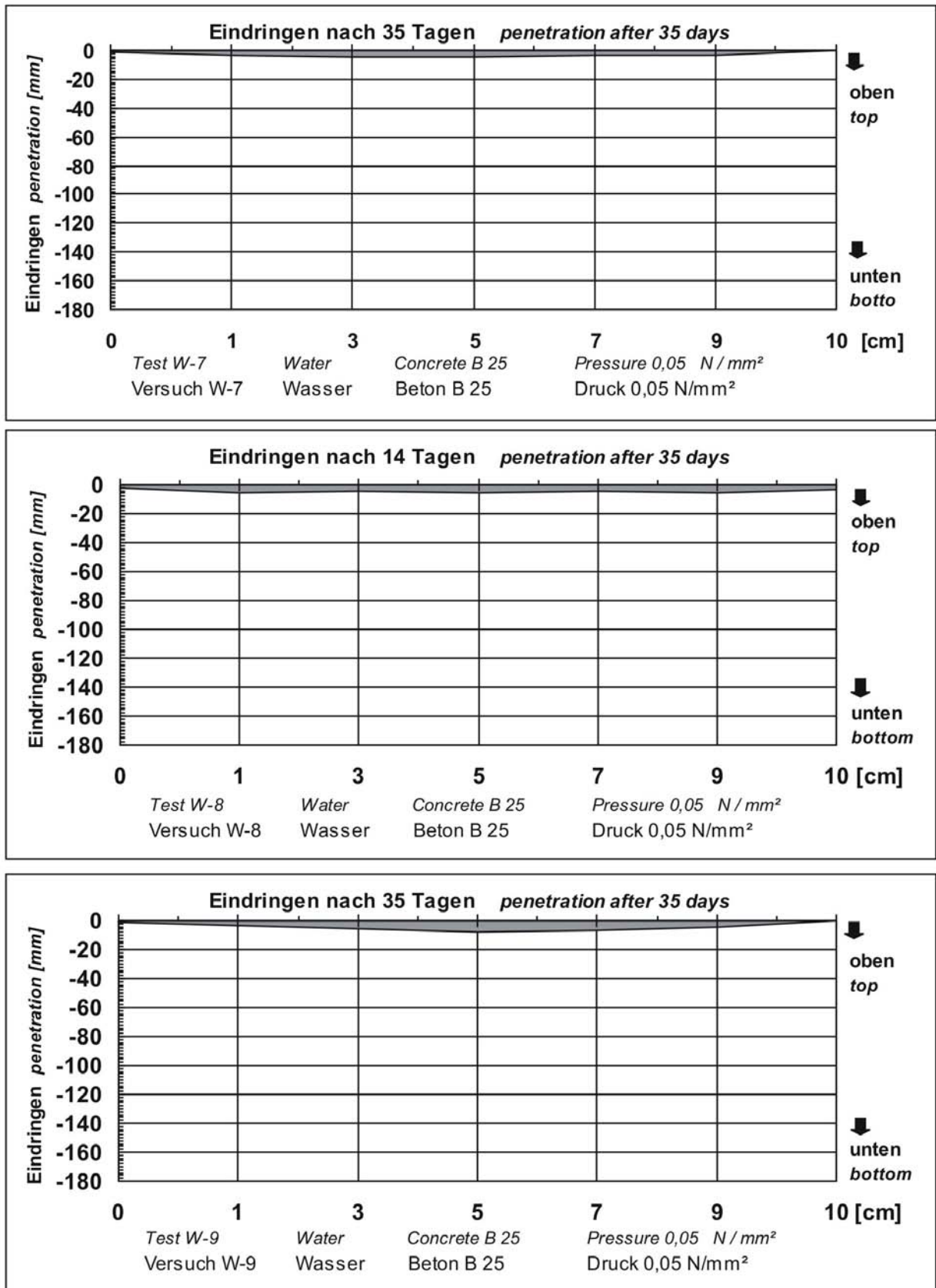


Abb. 58-60: Versuche über das Eindringen von Wasser in Beton nach 35 Tagen
 Test on the penetration of water into concrete, after 35 days

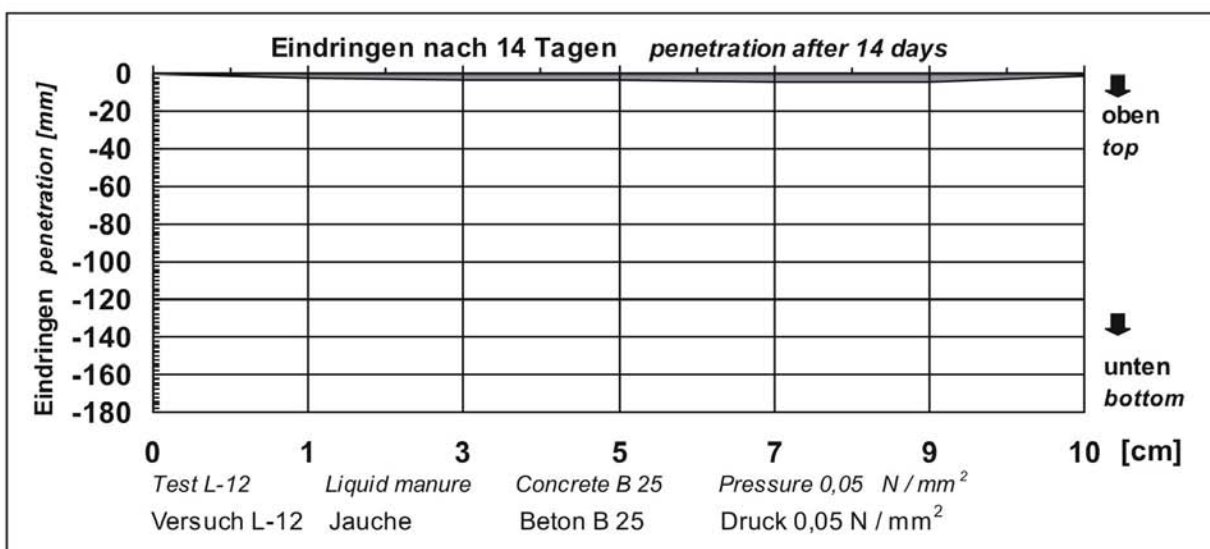
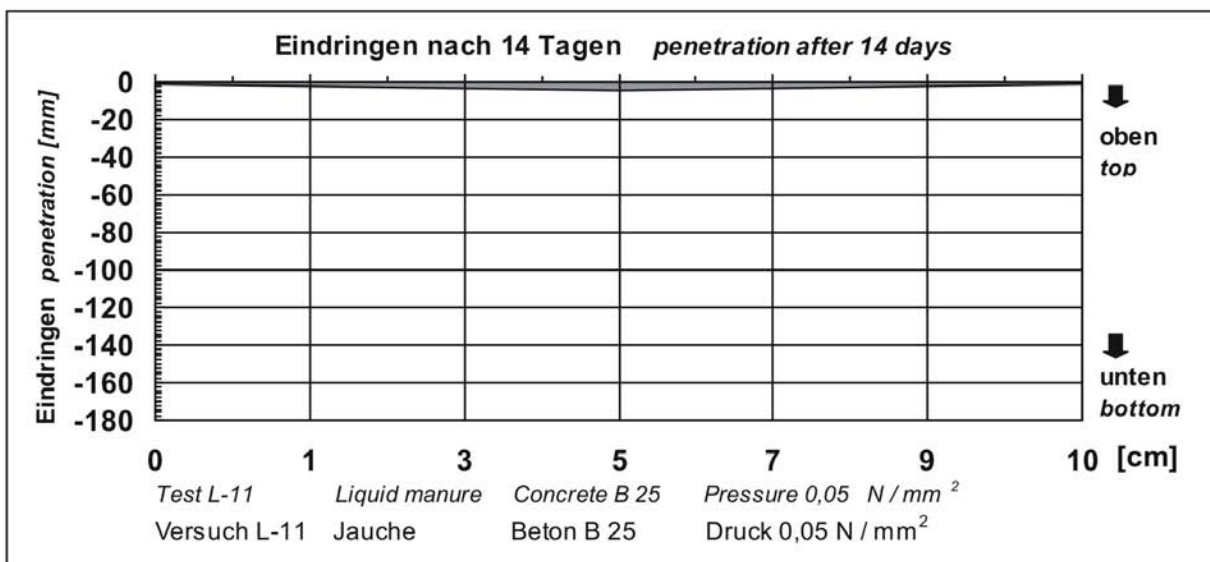
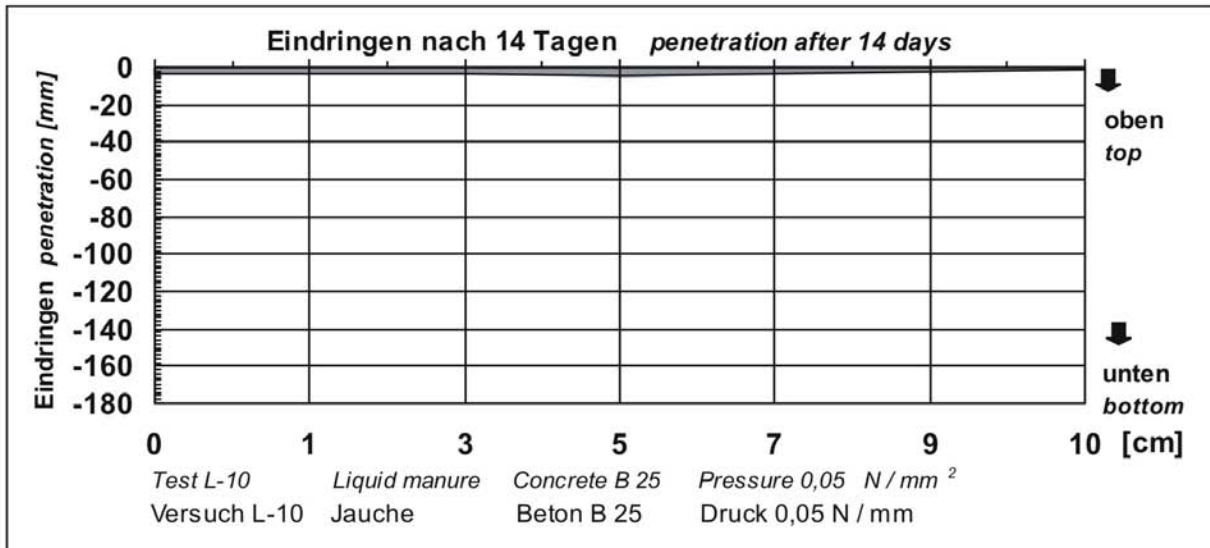


Abb. 61-63: Versuche über das Eindringen von Jauche in Beton nach 14 Tagen
Test on the penetration of liquid manure into concrete, after 14 days

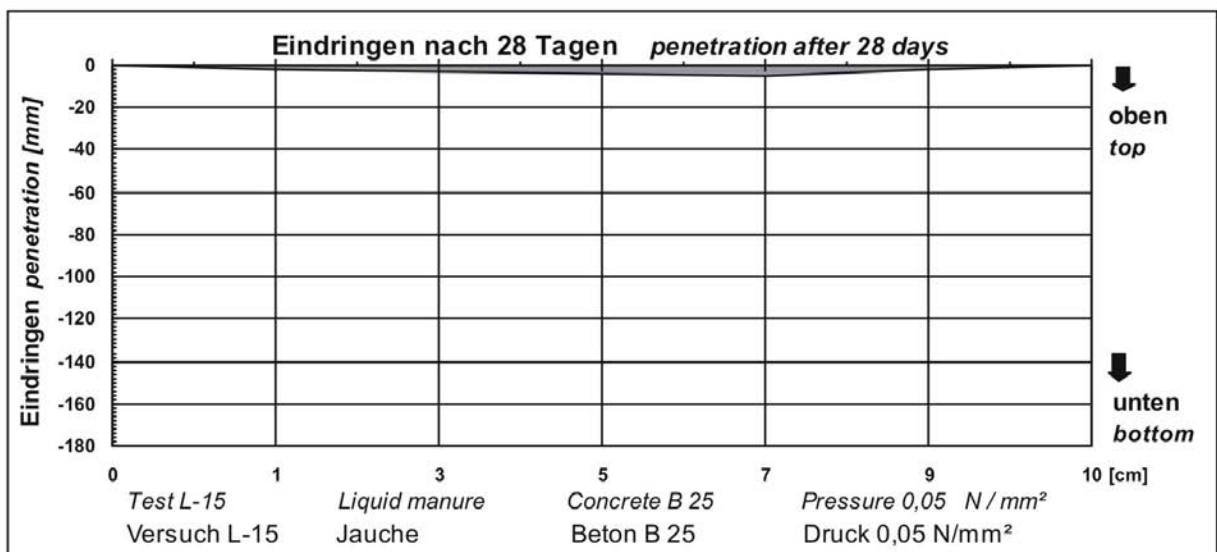
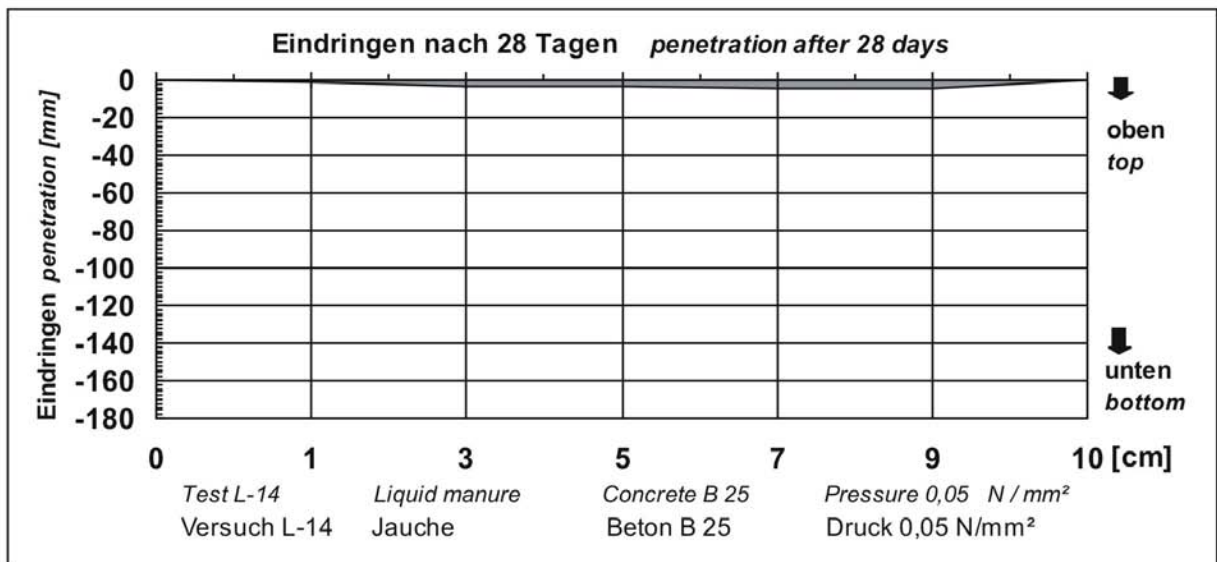
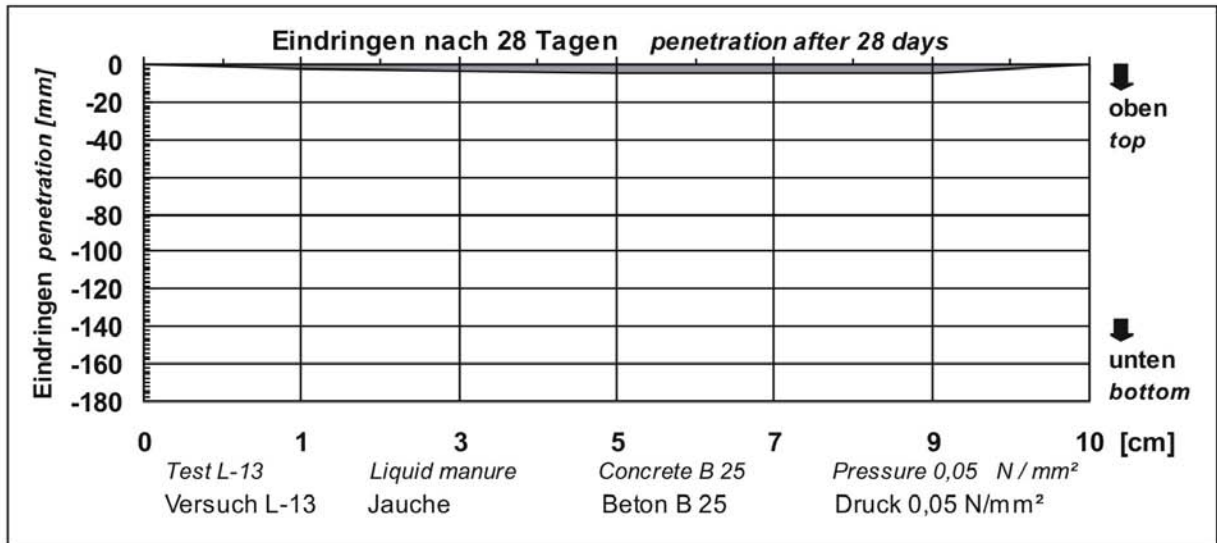


Abb. 64-66: Versuche über das Eindringen von Jauche in Beton nach 28 Tagen
 Test on the penetration of liquid manure into concrete, after 28 days

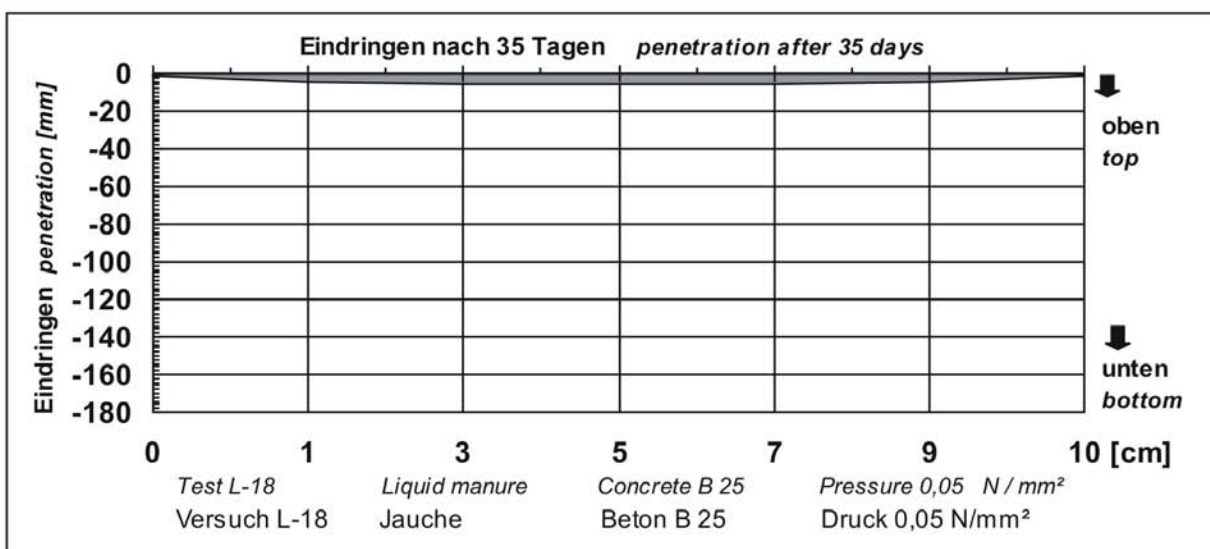
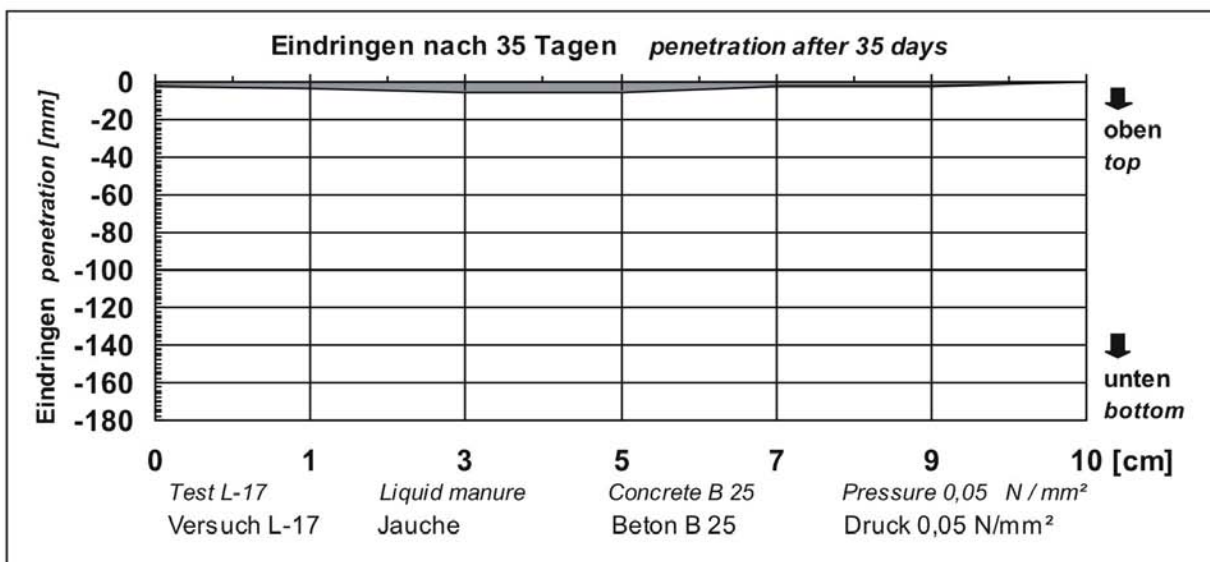
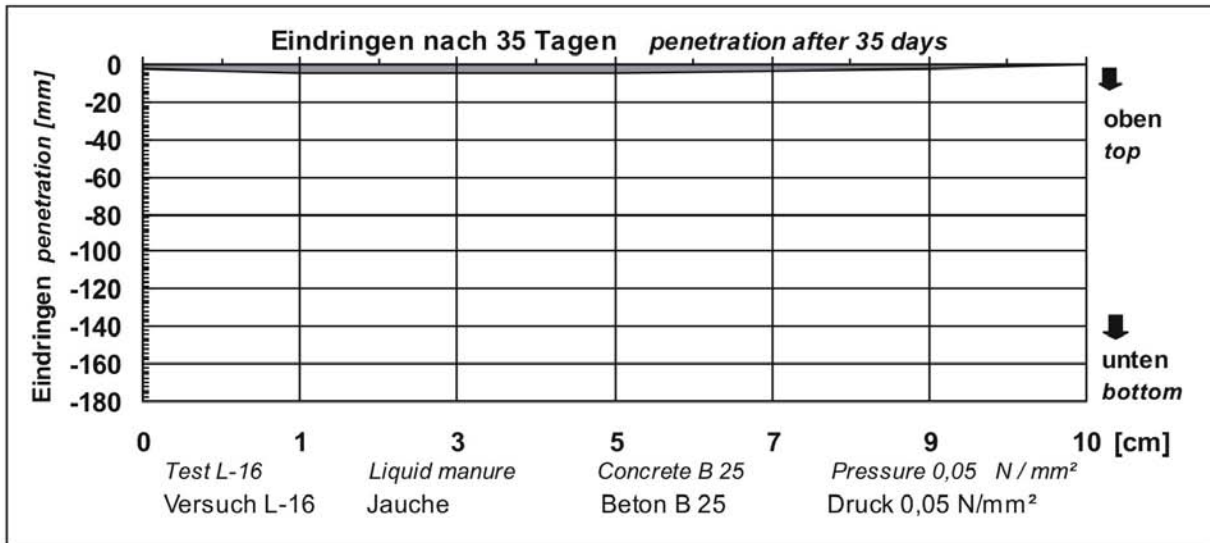


Abb. 67-69: Versuche über das Eindringen von Jauche in Beton nach 35 Tagen
 Test on the penetration of liquid manure into concrete, after 35 days

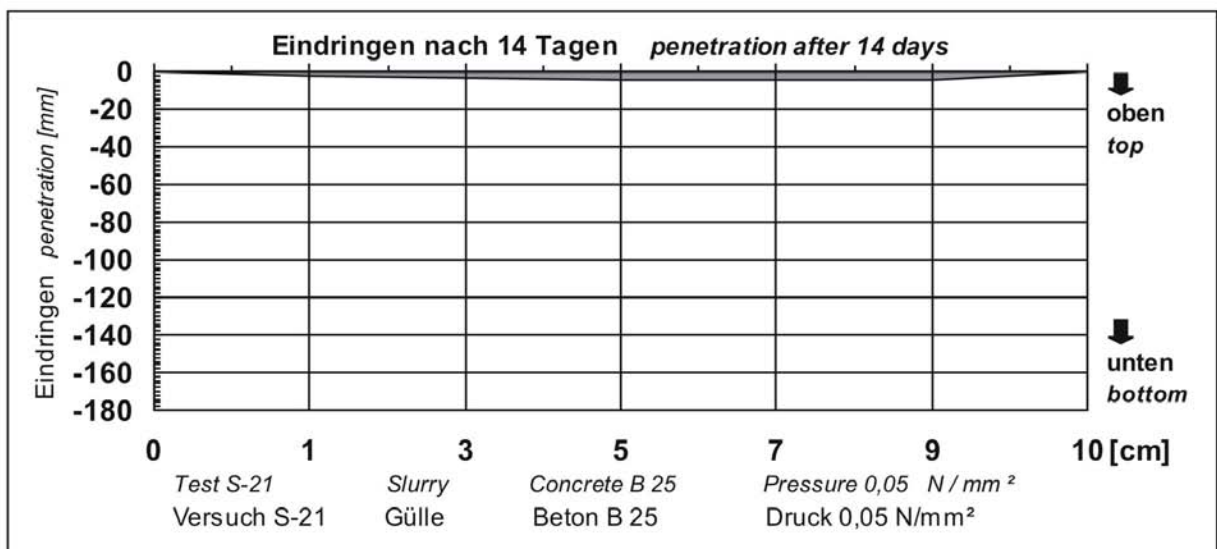
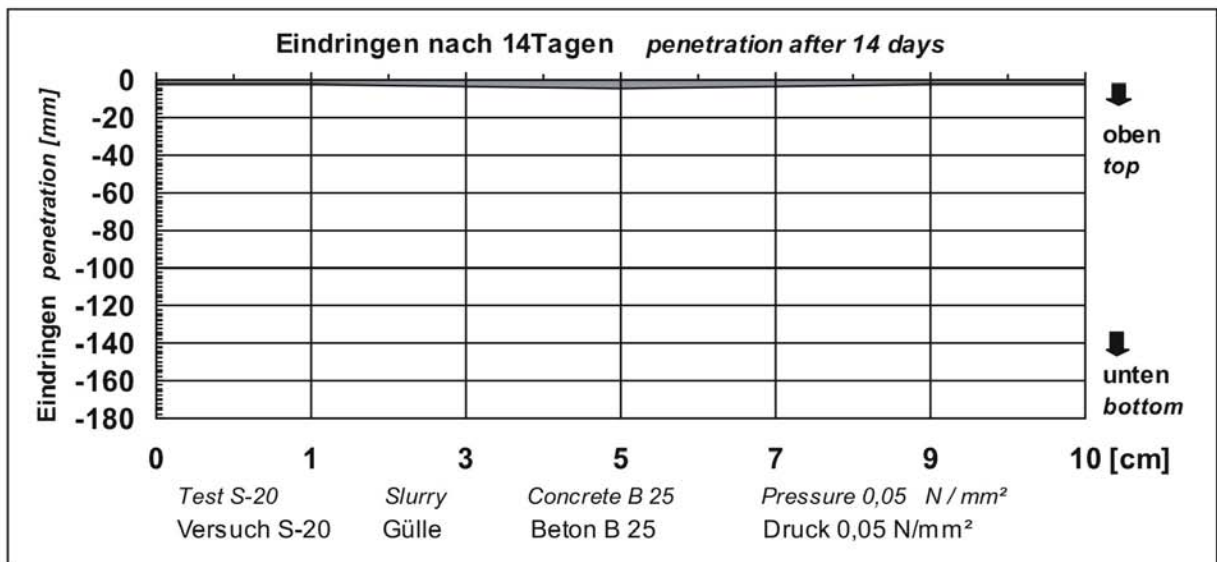
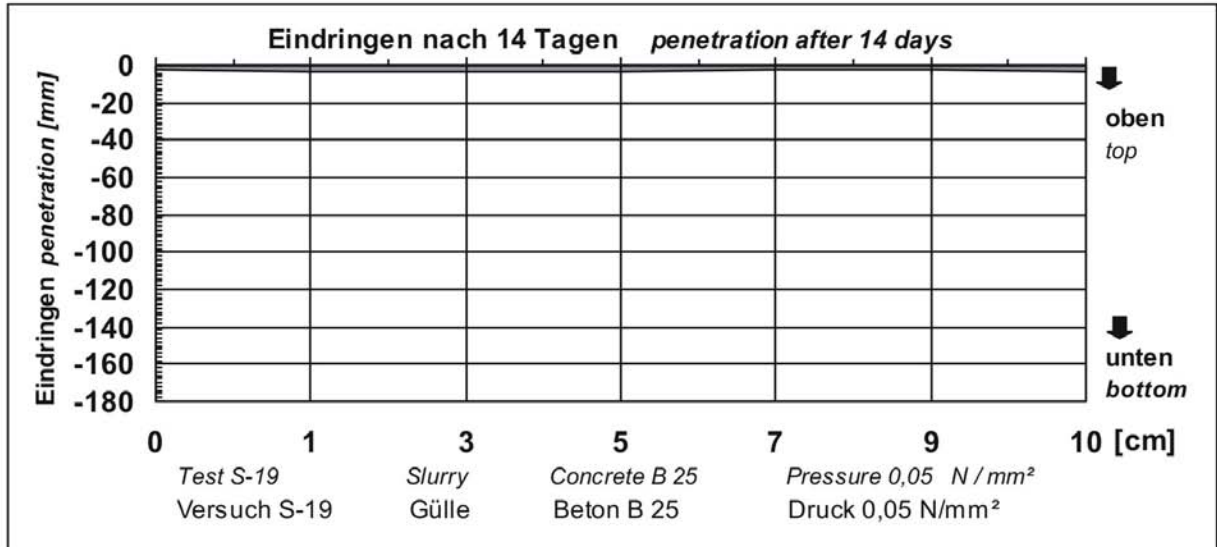


Abb. 70-72: Versuche ber das Eindringen von Gülle in Beton nach 14 Tagen
 Test on the penetration of slurry into concrete, after 14 days

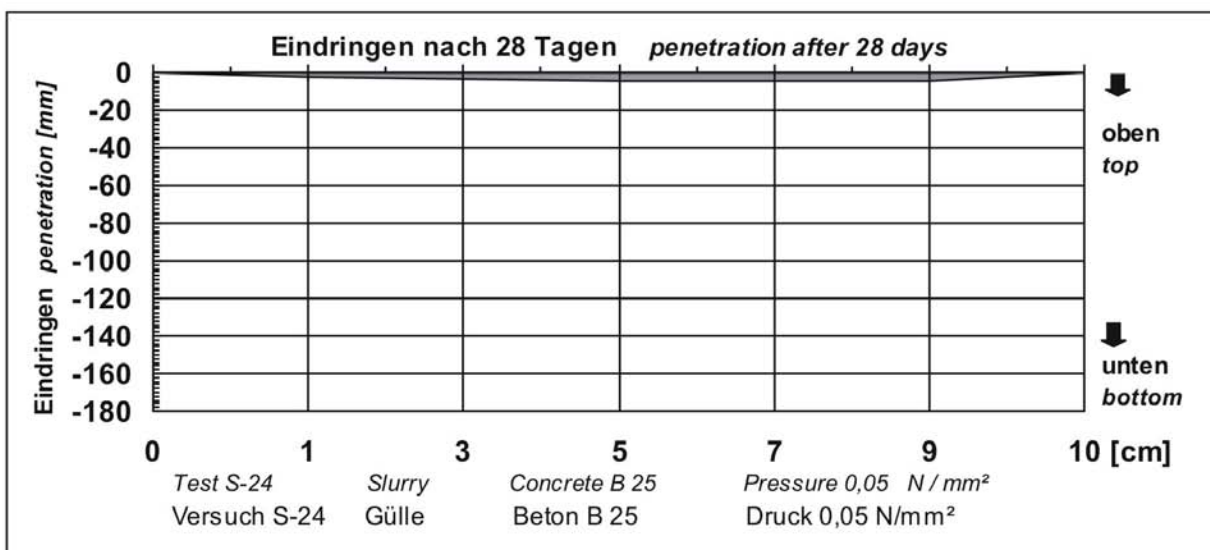
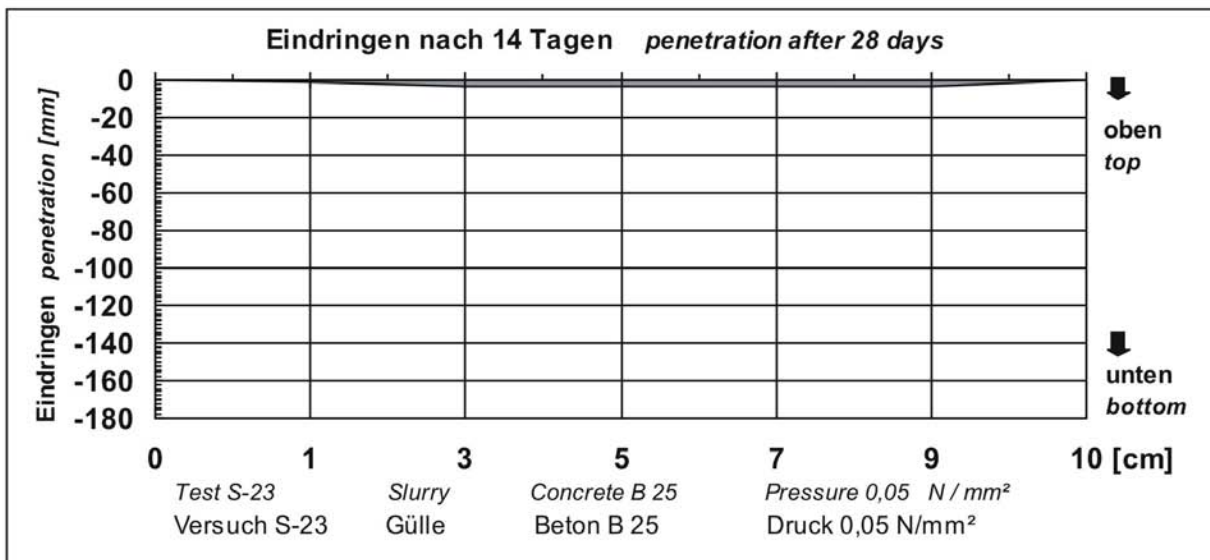
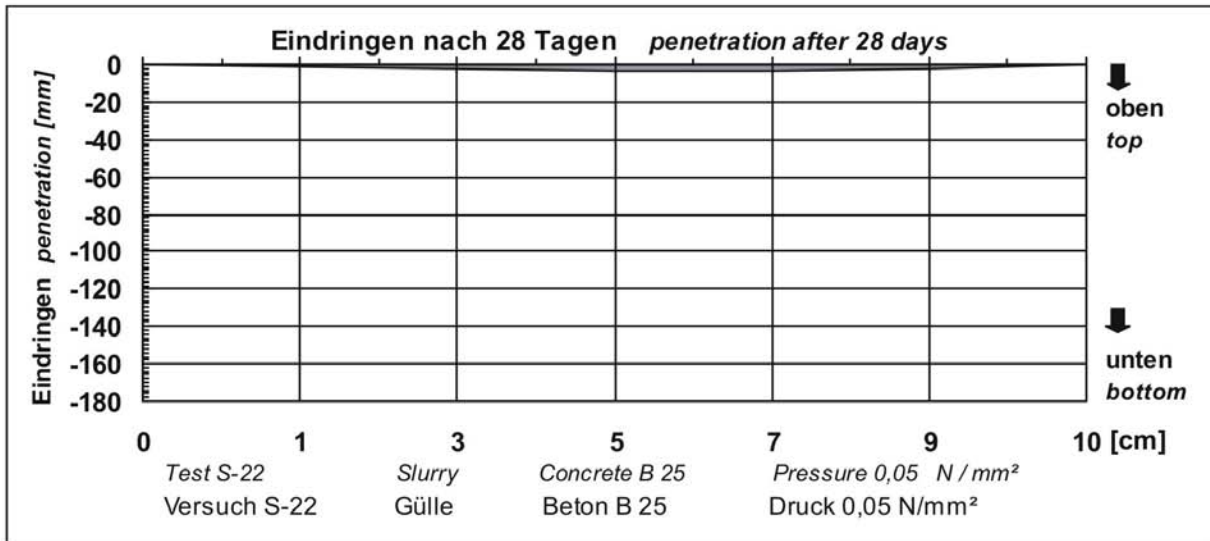


Abb. 73-75: Versuche über das Eindringen von Gülle in Beton nach 28 Tagen
Test on the penetration of slurry into concrete, after 28 days

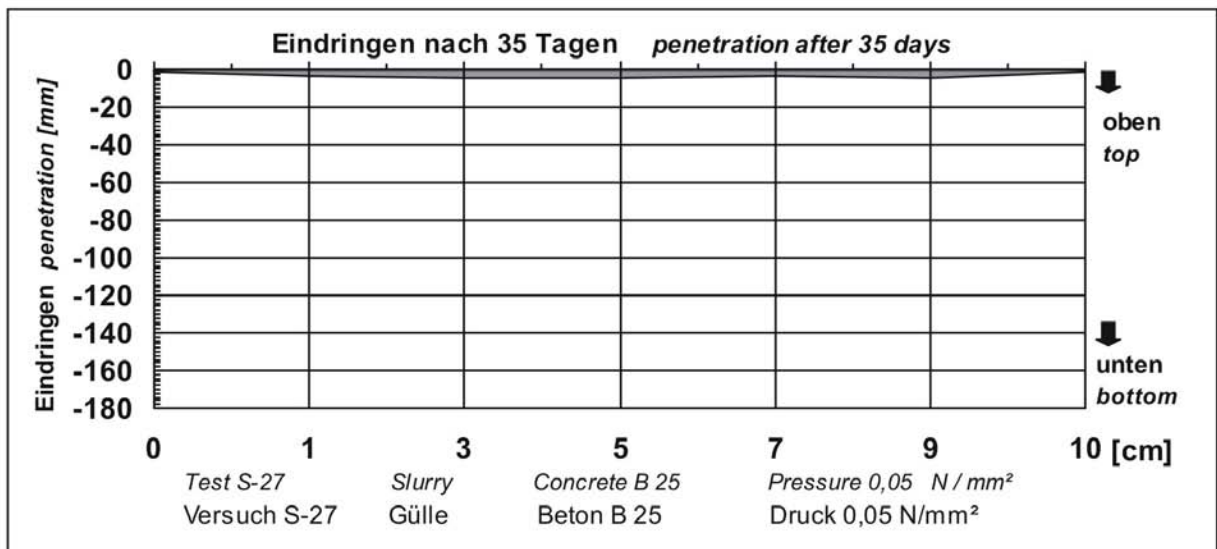
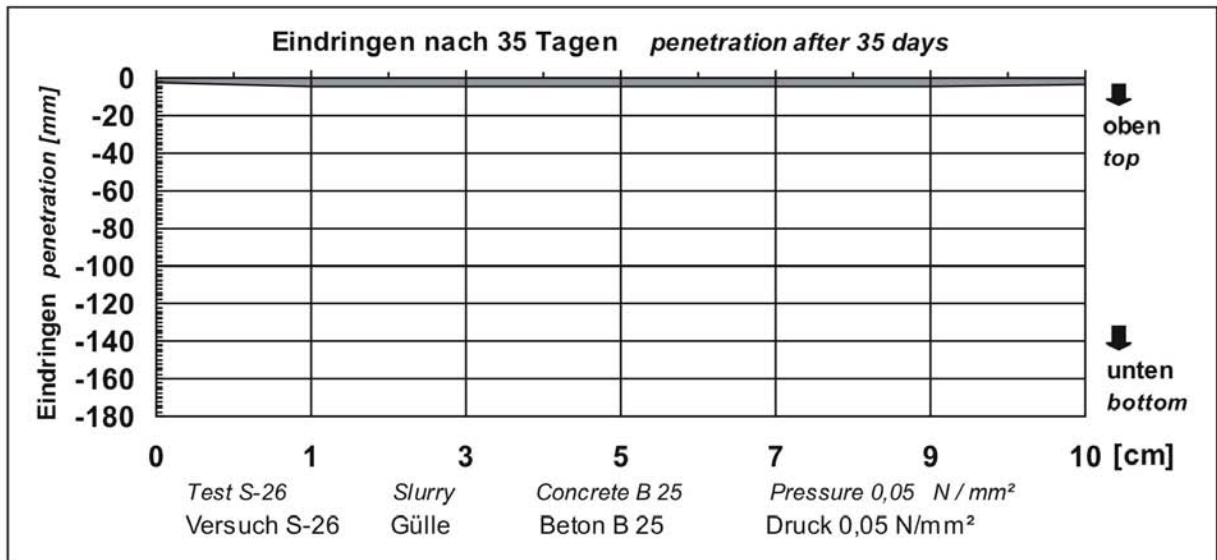
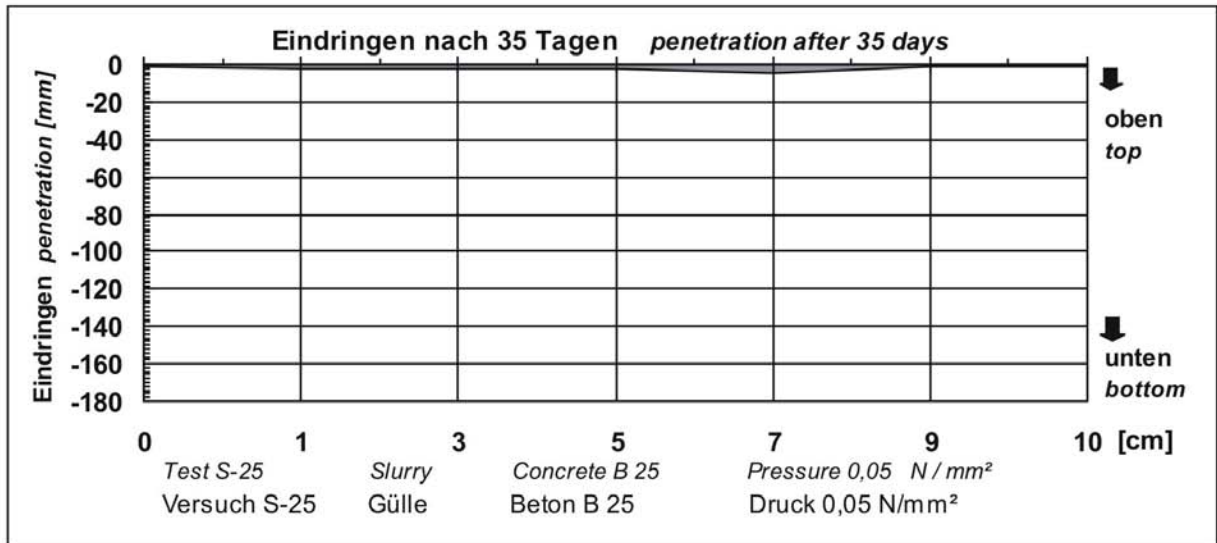


Abb. 76-78: Versuche ber das Eindringen von Glle in Beton nach 35 Tagen
Test on the penetration of slurry into concrete, after 35 days

4.2 Measurement of nitrogen content in the soil under a plastic-lined lagoon

The results of the 12 soil samples, which were taken under the plastic lined slurry lagoon after removal, are shown in Table 6.

Tab. 6: N_{\min} (kg ha⁻¹) in trockenem Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken
 N_{\min} (kg ha⁻¹) in a dry soil layer beyond a plastic lined slurry lagoon

| Prüfling Sample | Tiefe depth cm | Trockenmasse dry matter % | NO ₃ -N kg ha ⁻¹ | NH ₄ -N kg ha ⁻¹ | Σ N _{min} kg ha ⁻¹ | Σ 0-80 kg ha ⁻¹ |
|--------------------|----------------------|---------------------------------|---|---|---|-------------------------------|
| 1,1 | 60-80 | 95,6 | 7,9 | 5,4 | 13,3 | 69,5 |
| 1,2 | 40-60 | 94,0 | 10,0 | 7,5 | 17,5 | |
| 1,3 | 20-40 | 93,5 | 12,0 | 8,9 | 20,9 | |
| 1,4 | 0-20 | 93,1 | 7,5 | 10,3 | 17,8 | |
| 2,1 | 60-80 | 96,5 | 10,2 | 6,6 | 16,8 | 107,0 |
| 2,2 | 40-60 | 94,9 | 17,7 | 4,4 | 22,1 | |
| 2,3 | 20-40 | 95,6 | 25,9 | 3,6 | 29,5 | |
| 2,4 | 0-20 | 95,9 | 34,7 | 3,9 | 38,6 | |
| 3,1 | 60-80 | 93,1 | 26,6 | 5,8 | 32,4 | 84,1 |
| 3,2 | 40-60 | 96,3 | 18,6 | 2,8 | 21,4 | |
| 3,3 | 20-40 | 96,2 | 10,2 | 2,1 | 12,3 | |
| 3,4 | 0-20 | 94,1 | 12,9 | 5,1 | 18,0 | |

The control drillings no. 1 and no. 2 were made in the free space between the outer control tube and the central control tube system (herringbone shape). Drilling no. 3 was made precisely under one of the control tubes. The total amount of nitrogen in drilling 1 and 2 was 69.5 kg ha⁻¹ and 107.0 kg ha⁻¹, the centre drilling no. 3 was 84.1 kg ha⁻¹. The dry matter content in all samples from 0 (zero) to 80 cm of depth ranged from 93.1 to 96.6 %, indicating that growing depth shows higher dry matter content.

The NO₃-content ranged from 7.5 kg ha⁻¹ to 34.7 kg ha⁻¹, which is a rather wide span, the NH₄-content was between 2.1 and 10.3 kg ha⁻¹. These contents sum up to between 13.3 kg ha⁻¹ N_{min} and 38.6 kg ha⁻¹ N_{min}.

Slurry storage reservoirs are subjected to chemical attack. There is no precise chemical definition of slurry, because slurry is very different according to the type of animal, composition of fodder and water content. According to DIN 4030 some substances in slurry may attack concrete. These are mainly organic acids and Ammonium in the form NH₄⁺-N. As a chemical reduction will occur in the slurry, the problem is not severe.

4.2 Messung des Stickstoffgehalts im Boden unter einem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken

Die Ergebnisse der 12 Bodenproben, die unter dem mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken gefunden wurden, werden in Tabelle 6 gezeigt.

Die Kontrollbohrungen Nr. 1 und Nr. 2 wurden in der freien Fläche zwischen dem zentralen äußeren Kontrollrohr und dem inneren Kontrollrohrsystem (fischgrätenförmig) angelegt. Bohrung Nr. 3 wurde exakt unter einem der Kontrollrohre niedergebracht. Die Gesamtstickstoffmenge in den Bohrungen 1 und 2 betrug 69,5 kg ha⁻¹ und 107,0 kg ha⁻¹, bei der Bohrung Nr. 3 waren es 84,1 kg ha⁻¹. Der Trockenmassegehalt in allen Proben, die aus den Tiefen 0-80 cm entnommen worden waren, lag zwischen 93,1 und 96,6 %, was darauf schließen lässt, dass in größeren Tiefen auch der Trockenmassegehalt größer wird.

Der NO₃-Anteil lag zwischen 7,5 kg ha⁻¹ bis zu 34,7 kg ha⁻¹, was eine recht große Spannweite darstellt; der NH₄-Gehalt lag zwischen 2,1 und 10,3 kg ha⁻¹. Diese Inhalte summieren sich auf zu insgesamt 13,3 kg ha⁻¹ N_{min} und 38,6 kg ha⁻¹ N_{min}.

Güllelagerbehälter sind chemischem Angriff ausgesetzt. Es gibt keine genaue chemische Definition des Begriffs Gülle, weil es sehr viele verschiedene Güllesorten gibt in Abhängigkeit von der Tierart, der Zusammensetzung des Futters und dem Wasseranteil. Nach DIN 4030 können einige Bestandteile von Gülle für diesen Angriff verantwortlich sein. Dies sind in der Hauptsache organische Säuren und Ammoniak in der Form von NH₄⁺-N. Da eine chemische Reduktion in Gülle auftritt, ist dieses Problem jedoch nicht schwerwiegend.

DIN 4030 says that slurry attacks "weakly". For this reason, concrete can withstand this attack without a protective coating of the walls if the concrete is produced according to the regulations.

Mechanical influences may occur if a top like a tent to prevent air pollution is added to a concrete container. If so, the tension on the container top must be considered. Wind load must be calculated according to DIN 1055. If there is a group of concrete containers, an additional safety factor will be regarded.

The reinforcement of a concrete slurry container does not only serve static purposes, but also reduces the width of slits. While German regulations demand a maximum slit of 0.2 mm, Goldenstern et al. (1994) recommend that the calculated slit be at maximum of 0.1 mm.

5 Discussion

5.1 Tests concerning the "tightness"

Special literature shows that there is a lot of concern about possible environmental effects of animal waste storage world-wide, but no tests on the reliability of these reservoirs have been carried out yet.

Questions about the technical reliability of concrete slurry storage tanks arose in the late seventies, when few but severe accidents by breaking slurry tanks occurred. This is why, strict laws and regulations were introduced at the slightest suspicion of any dangers. From the building authorities' point of view the problem focuses on the question whether the slurry containers are "tight", as this is the main demand in many regulations for environmental protection.

In Germany it is the "*Wasserhaushaltsgesetz*" (Bundesgesetzblatt Jahrgang 1986, Teil 1), in Poland it is the law on "fertiliser and fertilisation" (Dziennik Ustaw, 2000, No. 89, pos. 991) and in the USA it is the "Clean Water Act" (Federal Agency on Environmental Protection, Atlanta/ Georgia, 1984).

Before the tests described were started, three different options were thought to be possible:

- 1) The test effluents may not be able to penetrate the surface of the test blocks. In this case the interior of the test blocks would stay dry.
- 2) The test effluents may slowly penetrate the test blocks. In this case their interior would become wet, which would mean that the colour of the concrete would change from light grey to medium grey or even dark grey.
- 3) The test effluents may penetrate the test blocks up to a certain amount and then stop. In this case part of the concrete would stay dry (light grey), the other part would become wet (darker grey).

DIN 4030 sagt darüber, dass Gülle "schwach" angreift. Aus diesem Grunde kann der Beton diesem Angriff ohne besondere Schutzhaut widerstehen, wenn der Beton nach den technischen Regeln hergestellt ist.

Mechanische Beeinflussung kann auftreten, wenn beispielsweise eine zeltförmige Abdeckung angebracht wurde, um Luftverschmutzung zu verhindern. In diesem Fall muss die Spannung auf den Behälterrund beachtet werden. Auch die Windlast muss nach DIN 1055 berechnet werden. Falls mehrere Behälter in der Form einer Batterie gebaut werden, muss ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor eingeführt werden.

Die Bewehrung eines Güllebehälters aus Beton dient nicht nur statischen Zwecken, sondern reduziert auch die Schlitzweite. Während deutsche Regelungen eine maximale Schlitzweite von 0,2 mm fordern, empfehlen Goldenstern et al. (1994), dass die mittlere Schlitzweite maximal 0,1 mm betragen sollte.

5 Diskussion

5.1 Versuche zur "Dichtheit"

Die Fachliteratur zeigt, dass es eine Menge von Bedenken über die Möglichkeit von Umwelteinflüssen durch die Lagerung tierischer Exkreme gibt, aber bisher wurden keine Versuche über die Verlässlichkeit dieser Behälter ausgeführt.

Fragen nach der technischen Zuverlässigkeit von Güllebehältern aus Beton kamen in den späten 70er Jahren auf, als einige wenige aber sehr schwere Unfälle durch versagende Güllebehälter auftraten. Aus diesem Grunde wurden strikte Gesetze und Regelungen bei dem leichtesten Verdacht irgendeiner Gefahr erlassen. Aus Sicht der Baugenehmigungsbehörden spitzte sich das Problem auf die Frage zu, ob diese Güllebehälter "dicht" sind, wie es die Hauptforderung in vielen Regelungen über Umweltschutz ist.

In Deutschland ist es das Wasserhaushaltsgesetz (Bundesgesetzblatt Jahrgang 1986, Teil 1), in Polen ist es das Gesetz über "Düngung und Düngemittel" (Dziennik Ustaw, 2000, Nr. 89, Pos. 991) und in den USA ist es das "Gesetz über reines Wasser" (Federal Agency on Environmental Protection, Atlanta/Georgia, 1984).

Bevor die beschriebenen Versuche anliefen, wurden 3 Fälle für möglich angesehen:

1. Die Versuchsflüssigkeiten sind nicht in der Lage, die Oberfläche der Probekörper zu durchdringen. In diesem Fall würde das Innere der Versuchsblöcke trocken bleiben.
2. Die Versuchsflüssigkeiten könnten die Testblöcke langsam durchdringen. In diesem Fall würde das Innere feucht werden, was bedeuten würde, dass die Farbe des Betons sich von leicht grau nach mittelgrau oder sogar dunkelgrau verändern würde.

Another question that had been decided on before the tests started, was how strong the pressure of the effluent should be. On the one hand the tests should be as close to the natural circumstances as possible, on the other hand the general understanding in engineering is that for dimensioning it is always the worst-case scenario that should be considered. It was found that big containers with a capacity of more than 1,000 m³ generally have a height of 4.0 m but in rare cases they are even taller. So it was decided to deal with containers of 5.0 m of height.

5.1.1 Tests in accordance to DIN 1045

For safety reasons, a safety coefficient of 10 was introduced. This is the highest safety coefficient ever-used in engineering; it is used for the dimensioning of grain silos for example. The pressure used for the tests was therefore decided to be 0.5 N mm⁻², which equals a water column of 50 m.

When the first test results were available, a new discussion arose, on whether it would be of interest to increase the test pressure. The idea behind this proposal was to obtain data concerning long-range tests. Diesel injection pumps can deliver a pressure of 1,000-2,000 bars today. This idea was abandoned, however, because the results could only be of "academic interest", i.e. a long way from practice.

The next question to be decided was how to look into the test blocks. The first idea was to use concrete core drills, 100 mm in diameter. Equipment for these drills is available from companies that drill concrete foundations at a steep angle for gas supply tubes. It was found that the cost of these drills was not very high, the lowest offer was about 20.45 Euro (converted from DM). This idea was abandoned because of a severe disadvantage: the transportation of the samples and the drilling would take too long.

A better solution was found by using a high pressure hydraulic, which was able to split the concrete samples as soon as they came out of the test machine. The difference between dry and wet could clearly be seen, the lines were marked by a thin red ink fibre pencil (Photographs see annex).

On the whole, the ratio between the penetration depth measured with water and the penetration depth measured with slurry was 2 to 1 up to 3.4 to

3. Die Versuchsflüssigkeiten könnten die Probekörper bis zu einem bestimmten Punkt durchdringen und dann in diesem Zustand verharren. In diesem Fall würde ein Teil des Betons hellgrau bleiben, der andere Teil würde durch die Feuchtigkeit dunkler grau werden.

Eine andere Frage, die vor Versuchsbeginn zu klären war, war wie stark der Druck der Flüssigkeit sein sollte. Auf der einen Seite sollten die Versuche so nah an den natürlichen Bedingungen wie möglich sein, auf der anderen Seite ist es aber allgemeines Verständnis im Ingenieurwesen, dass jede Dimensionierung nach dem "schlimmstmöglichen Fall" durchgeführt werden muss. Es wurde festgestellt, dass große Behälter mit Volumina von mehr als 1.000 m³ im Allgemeinen eine Wandhöhe von 4 m haben, in seltenen Fällen sind sie sogar größer. So wurde beschlossen, die Höhe mit 5 m anzusetzen.

5.1.1 Versuche nach DIN 1045

Aus Sicherheitsgründen wurde ein Sicherheitskoeffizient von 10 eingeführt. Dies ist der höchste Sicherheitskoeffizient, der jemals im Ingenieurwesen benutzt wurde; er wird z. B. für die Bemessung von Getreidesilos herangezogen. Der Druck bei den Versuchen wurde daher mit 0,5 N mm⁻² angesetzt, was einer Wassersäule von 50 m Höhe entspricht.

Nachdem die ersten Versuchsergebnisse zur Verfügung standen, entstand eine neue Diskussion darüber, ob es von Interesse sei den Versuchsdruck zu erhöhen. Der Gedanke hinter diesem Vorschlag war, auf diese Weise Daten ähnlich einem Langzeitversuch zu bekommen. Dieseleinspritzpumpen können heute Drücke zwischen 1.000 und 2.000 bar liefern. Dieser Gedanke wurde jedoch verworfen, denn die Ergebnisse wären nur von "akademischem Interesse", d. h. sehr weit von der Praxis entfernt.

Die nächste zu klärende Frage war, wie man in die Versuchsblöcke hinein blicken könne. Zunächst wurde vorgeschlagen, Betonbohrungen mit 100 mm Durchmesser vorzunehmen. Die Versuchsausrüstung hierfür ist bereits durch spezielle Firmen verfügbar, die z. B. Bohrungen durch Betonfundamente für Gasleitungen ausführen. Es wurde festgestellt, dass die Kosten dieser Bohrungen auch nicht besonders hoch sind. Das niedrigste Angebot lag bei 20,45 EUR (umgerechnet aus DM). Diese Idee wurde verworfen, weil sie mehrere schwere Nachteile hat: der Transport der Probekörper und der Bohrvorgang würde zu lange dauern.

Eine bessere Lösung wurde durch den Einsatz einer hydraulischen Hochdruckpumpe gefunden, die in der Lage ist, die Betonprüflinge sofort aufzubrechen, nachdem sie aus der Versuchsvorrichtung entnommen werden. Der Unterschied zwischen trockener und feuchter

1, with a mean of 2.4 to 1.

5.1.2 Long term tests on the dynamics of penetration

The penetration depths which were measured under conditions according to DIN 1045 were much less than the 50 mm allotted. For the discussion of the results of the long term tests must be considered, however, that these tests were run at a water column of 5.0 m, which equals 10% of that used during the first tests, and the maximum duration of the tests, 35 days, equals 11.7 times the duration according to the regulation. This is why a direct comparison of the results is not possible.

As shown in Table 5, the long term penetration of water was the deepest with 4.3 mm on an average after 14 days, the average after 28 days was 5.0 mm and after 35 days it was 6.0 mm. The penetration of liquid manure was less, with an average of 4.0 mm after 14 days, 4.3 mm after 28 days and 5.0 mm after 35 days, although the consistency of the liquid manure after the centrifugation was rather similar to that of water. The lowest penetration was measured with slurry; it was 3.3 mm on an average³ after 14 days, still 3.3 mm after 28 days and 3.7 mm after 35 days. All these results are much lower than those shown by the tests according to the regulation, and they are very much lower than the 50 mm allotted.

Another result of the long term observation is that by far most of the penetration is reached after 14 days only, the improvement during the next weeks is visible with clear water, but it is little with agricultural effluents. Also can be seen, that penetration is lower, the higher the dry matter content of the effluent is.

A theoretical consideration on the penetration of water "into bodies with capillary tubes" was made according to *Darcy* (Beddoe and Springenschmidt, 1999) the postulated that water will finally go through totally after a certain time, which is influenced by pressure and quality of material.

According to *Darcy* the penetration of clear water can be predicted by the equation:

$$e_t = \sqrt{\frac{2kh_D t}{P}} \quad (3)$$

with e_t = penetration in mm,

k = constant related to quality of material

h_D = height of water column

Zone ist dann klar zu sehen, die Trennlinie wurde zusätzlich durch einen dünnen roten Faserstift markiert (s. Fotos im Anhang).

Insgesamt war das Verhältnis zwischen Eindringtiefe gemessen mit Wasser und der Eindringtiefe gemessen mit Gülle zwischen 2:1 bis zu 3,4:1, was ein Mittel von 2,4:1 ergibt.

5.1.2 Langzeitversuche über das Eindringenverhalten

Die Eindringtiefen, die nach den Bedingungen der DIN 1045 durchgeführt worden waren, zeigten Werte von wesentlich weniger als den zugelassenen 50 mm. Zur Diskussion der Ergebnisse der Langzeitversuche muss jedoch beachtet werden, dass diese Versuche mit einer Wassersäule von 5 m Höhe durchgeführt wurden, was 10 % des Druckes während der ersten Versuche ausmacht, und die maximale Dauer dieser Versuche, 35 Tage, entspricht 11,7 x der Dauer entsprechend der DIN. Aus diesem Grunde ist ein direkter Vergleich zwischen den Ergebnissen der 1. und der 2. Versuche nicht möglich.

Wie Tabelle 5 zeigt, betrug die größte Eindringtiefe während der Langzeitversuche 4,3 mm im Mittel nach 14 Tagen, das Mittel betrug nach 28 Tagen 5,0 mm und nach 35 Tagen 6,0 mm. Die Eindringtiefe von Jauche war geringer, mit einem Mittel von 4 mm nach 14 Tagen, 4,3 mm nach 28 Tagen und 5,0 mm nach 35 Tagen, obwohl die Konsistenz der Jauche nach dem Zentrifugieren sehr ähnlich derjenigen von Wasser ist. Die niedrigste Eindringtiefe wurde mit Gülle gemessen; sie betrug 3,3 mm im Mittel nach 14 Tagen, noch 3,3 mm nach 28 Tagen und 3,7 mm nach 35 Tagen. Alle diese Ergebnisse liegen wesentlich niedriger als diejenigen, die die Norm vorgibt, d. h. wesentlich niedriger als 50 mm.

Ein anderes Ergebnis der Langzeitversuche ist, dass der bei weitem größten Teil der Eindringtiefe bereits nach 14 Tagen erreicht wird, die Zunahme während der nächsten Wochen ist am besten mit klarem Wasser erkennbar, mit landwirtschaftlichen Flüssigkeiten ist sie geringer. Ebenfalls zeigte sich, dass die Eindringtiefen niedriger werden, wenn der Anteil der Trockenmasse größer wird.

Eine theoretische Betrachtung über das Eindringen von Wasser "in Körper mit kapillaren Röhren" wurde nach *Darcy* angestellt (Beddo und Springenschmidt, 1999), die postulierten, dass letztendlich Wasser durch diese Körper nach einer gewissen Zeit hindurchgeht, wobei dieses durch den Druck und die Materialeigenschaften beeinflusst wird.

Nach *Darcy* kann das Eindringen von klarem Wasser in einen solchen Körper berechnet werden nach der Formel

t = time
P = porosity

This equation was used for the test relations as described before, provided that the value after 35 days would be according to the test result, at pressure of 5 bar after 3 days, theoretically. Of course, in this case the effluents slurry and liquid manure must be handled like water.

The values taken for the following comparisons were taken from the test results, considering 3 options:

- the penetration may act according a $\sqrt{t \cdot h_D}$ - relation,
- the penetration may act according a \sqrt{t} -relation,
- the penetration may act according to a \sqrt{t} - relation

with time being without influence. This leads to the following results in Table 7.

As can be seen, even in the worst theoretical case the demand of the safety regulation is absolutely fulfilled with water; conditions with liquid manure and slurry are even better.

Furthermore, it is obvious that the "self-tightening quality" of effluents in concrete containers will be improved by higher amounts of solids.

For the practical building of slurry containers made of concrete this means, that even the lowest quality allowed by the regulations, the maximum height being used with building parts of a minimum thickness of 180 mm (Germany and Poland) is safe in the sense of law.

$$e_t = \sqrt{\frac{2k h_D t}{P}} \quad (3)$$

mit e_t = Eindringtiefe in mm,
k = Konstante in Abhängigkeit von der Materialeigenschaft
 h_D = Höhe der Wassersäule
t = Zeit
P = Porosität

In diese Gleichung wurden die vorgenannten Ergebnisse eingegeben, mit den Werten nach 35 Tagen Bauaufschlagung mit einem Druck von 5 bar 3 Tage lang. Natürlich müssen in diesem Fall die Versuchsfüssigkeiten Gülle und Jauche wie Wasser behandelt werden.

Die Werte aus den folgenden Vergleichen wurden den Versuchsergebnissen entnommen, wobei es 3 Möglichkeiten gibt,

- das Eindringen könnte nach einer $\sqrt{t \cdot h_D}$ -Beziehung erfolgen,
- das Eindringen könnte nach einer \sqrt{t} -Beziehung ablaufen,
- das Eindringen könnte nach einer \sqrt{t} -Beziehung verlaufen,

wobei die Zeit dann keinen Einfluss hätte. Dies führt zu den folgenden Ergebnissen in Tabelle 7.

Man kann sehen, dass selbst im schlimmsten theoretischen Fall die Forderung der Sicherheitsregel absolut auch mit Wasser erfüllt ist; die Verhältnisse mit Jauche und Gülle sind sogar noch besser.

Weiterhin ist offensichtlich, dass die "Selbstabdichtungseigenschaft" von Flüssigkeiten in Betonbehältern sich verbessert, wenn der Anteil der Feststoffe erhöht wird. Das bedeutet für die Praxis des Baus von Güllebehältern aus Beton, dass selbst die niedrigste Qualität, die die Norm erlaubt, bei maximaler Höhe und mit einer Mindestbodendicke von 180 mm (Deutschland und Polen) sicher im Sinne des Gesetzes ist.

Tab. 7: Theoretische Eindringtiefe im Vergleich zu den gemessenen Eindringtiefen
Theoretical penetration depths in comparison to measured penetration depths

| Eindringverhalten Test effluent | Measured at 0.5 bar after 35 days | Theoretical penetration after 3 days and 5 bar | | | Penetration allotted accord. to the regulation (t = 3 days, h _D = 5 bar) |
|------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|---|
| | | $\sqrt{t \cdot h_D}$ | \sqrt{t} ; no h _D influence | $\sqrt{h_D}$; no time influence | |
| Wasser Water | 8 mm | 7,4 mm | 2,34 mm | 25,3 mm | 50 mm |
| Flüssigmist Liquid manure | 6 mm | 5,6 mm | 1,75 mm | 19,0 mm | 50 mm |
| Gülle Slurry | 4 mm | 3,7 mm | 1,17 mm | 12,7 mm | 50 mm |

5.2 Discussion of nitrogen content in the soil

As shown in Fig. 26, three control drillings, 0.80 m deep each, were made under the upper left edge a

5.2 Diskussion des Stickstoffgehalts im Boden

Wie in Abb. 26 gezeigt, wurden 3 Probebohrungen von je 0,80 m in der oberen linken Ecke eines 750 m³

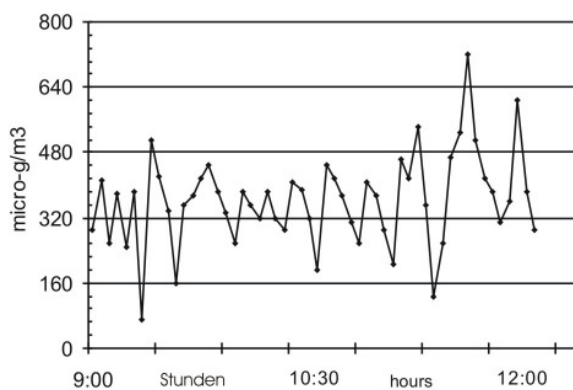
750 m³ plastic lined slurry lagoon after the lining was pulled out in Dec. 2001.

Drillings 1 and 2 were placed symmetrically 3.00/1.50 m from the edge for direct comparison. The total N-content in the soil, 0.8 m deep, was 69.5 and 107 kg N/ha, respectively. This differs by about 65 %, but compared to the normal N-content in arable land it is very low. Drill no. 3 was placed directly under a former control tube.

The total N-content was measured as 84.1 kg ha⁻¹, which was lower than that in drilling 2. This proves that there has not been any damage of the plastic lined lagoon. The N-content in the soil is statistically distributed. This proves that plastic lined lagoons are also "tight" in the sense of the law.

5.3 Discussion of emissions

Fricke (1991) first measured ammonium emissions from animal waste storages by method of DOAS. Two plastic lined slurry lagoons of 750 m³ each were available, one of them being covered by a natural swimming layer of slurry solids, the other one being covered by a 0.8 mm plastic layer. The results are shown as Fig. 79-80.



fassenden, mit Kunststoff ausgekleideten Erdbeckens für Gülle im Dezember 2001 niedergebracht.

Die Bohrungen 1 und 2 wurden symmetrisch 3,00/1,50 m von der Ecke aus gemessen zum Zwecke direkter Vergleiche angeordnet. Der Gesamtstickstoffgehalt im Boden, 0,8 m tief, betrug 69,5 und 107 kg N/ha⁻¹. Dieses liegt etwa 65 % auseinander, aber verglichen mit dem normalen Stickstoffgehalt von Ackerland ist er sehr niedrig. Bohrung Nr. 3 wurde direkt unter einem früheren Kontrollrohr angelegt. Der Gesamtstickstoffgehalt wurde dort mit 84,1 kg ha⁻¹ gemessen, welcher niedriger ist als derjenige in Bohrung 2. Dies beweist, dass es keinerlei Beschädigung der Kunststoffauskleidung gegeben hatte. Der Stickstoffgehalt im Boden ist statistisch verteilt. Dies beweist, dass auch mit Kunststoff ausgekleidete Erdbecken "dicht" im Sinne des Gesetzes sind.

5.3 Diskussion der Emissionen

Fricke (1991) maß zuerst die Ammoniak-Emissionen aus Güllelagerung mit der DOAS-Methode. Zwei mit Kunststoff ausgekleidete Erdbecken mit je 750 m³ Kapazität standen zur Verfügung, eines davon war mit einer natürlichen Schwimmdecke aus Feststoffen der Gülle abgedeckt, das andere war durch eine Kunststofffolie von 0,8 mm Dicke abgedeckt. Die Ergebnisse sind in den Bildern 79 und 80 dargestellt.

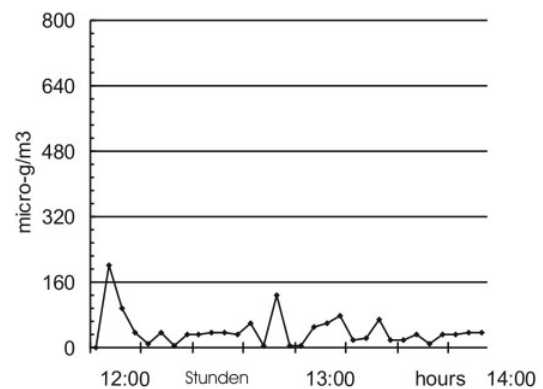


Abb. 79-80: Messung der Ammoniak-Emissionen über einen mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken mit Schwimmschicht aus Feststoffen und mit schwimmender PE-Abdeckung (Fricke, 1991)
Measurement of ammonia-emissions on a plastic lined slurry lagoon with swimming solids layer and with plastic cover (Fricke, 1991)

The homogenisation of the container with the natural layer started at 9 o'clock. On average a load of about 320 µg of ammonium per m³ with slowly increasing tendency was observed. The second container with the plastic layer was started at 12 o'clock, showing a peak of 195 µg per m³ followed by an average of about 40 micro-g per m³. Thus, the plastic layer reduced the emissions by factor 8.

Das Homogenisieren des Behälters mit der natürlichen Schwimmdecke begann um 9:00 Uhr. Im Mittel wurde ein Betrag von 320 µg Ammoniak pro m³ mit leicht ansteigender Tendenz beobachtet. Der 2. Behälter mit der Kunststoffolie wurde um 12:00 Uhr homogenisiert, wobei sich ein Spitzenwert von 195 µg pro m³ zeigte, dem ein Mittel von etwa 40 µg pro m³ folgte. Also hat die Kunststoffolie die Emissionen mit dem Faktor 8 stärker vermindert.

If solid covers for the reduction of N-emissions will be used in the future, there will be hardly any emissions from slurry storage and homogenisation any more.

6 Conclusions and Recommendations

- The concrete test blocks did not allow passage of either water or slurry in any of the studies.
- Thus the requirements of the Water Household Law or similar state laws on slurry containers made of concrete to be impermeable are met.
- The tests showed that slurry penetrates less deeply into concrete than water under similar conditions.
- If water impermeable concrete (WU Concrete) is used for the manufacturing of slurry containers from an accepted technological perspective, impenetrable slurry containers can be manufactured.
- Constructive secondary conditions for the manufacturing of water impermeable constructions according to DIN 1045 must be considered.
- During the hardening process, concrete for slurry containers must be kept absolutely wet to prevent slits.
- The quality of the manufacture of slurry containers should be monitored and documented during the construction process.
- More regulations or demands for environmentally safe slurry storage do not promise to improve the environmental safety of the containers, but would result in higher building costs.
- The classification of slurry as a "dangerous substance" cannot be supported from the perspective of storage.
- Finally, it would be desirable in the future that concrete manufacturers guarantee the impermeability of these containers. This would certainly be a weighty argument, which could speed up government approval processes.
- Measurement of the nitrogen content in the soil under a former plastic lined slurry lagoon showed low contents of nitrogen. This means that soil, which has not been used as arable land is not "clean", but there is no overload of nitrogen from a leakage of the plastic lined slurry lagoon.

Wenn in Zukunft zur Verminderung der Stickstoff-Emissionen Kunststofffolien eingesetzt werden, wird es so gut wie keine Emissionen aus Güllelagerung, auch nicht beim Homogenisieren, geben.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- Die Betonprüflinge ließen keine Durchdringung zu, weder von Wasser noch von Gülle.
- Also sind die Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes sowie ähnlicher Landesgesetze über die Forderung, dass Güllebehälter „dicht“ sein müssen, erfüllt.
- Die Versuche zeigten, dass Gülle weniger tief in Beton eindringt als Wasser unter sonst gleichen Bedingungen.
- Wenn wasserdichter Beton zum Bau von Güllebehältern eingesetzt wird (WU-Beton), wobei die Regeln der Technik eingehalten worden sind, können undurchdringliche Güllebehälter hergestellt werden.
- Weitere Bedingungen der DIN 1045 für den Bau wasserundurchdringlicher Konstruktionen müssen eingehalten werden.
- Während des Aushärtungsprozesses müssen Güllebehälter aus Beton unbedingt feucht gehalten werden, um die Bildung von Schlitzen zu verhindern.
- Die Eigenschaften der Güllebehälter sollten während der Bauphase nicht nur beobachtet, sondern auch schriftlich festgehalten werden.
- Weitere Regelungen oder Forderungen zum Zwecke der Verbesserung des Umweltschutzes beim Bau von Güllelagern versprechen keine weitere Erhöhung der Sicherheit dieser Behälter, würden jedoch zu erhöhten Baukosten führen.
- Die Einstufung von Gülle als eine "gefährliche Substanz" kann aus der Perspektive der Lagerung nicht gestützt werden.
- Schließlich wäre es für die Zukunft wünschenswert, dass die Betonhersteller die Undurchdringlichkeit dieser Behälter garantierten. Dieses wäre sicherlich ein starkes Argument, das die Genehmigungsverfahren beschleunigen könnte.
- Die Messung des Stickstoffgehaltes im Boden unter einem früheren mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken zeigte niedrige Konzentrationen von Stickstoff. Dies bedeutet, dass Boden, der nicht als Ackerland genutzt worden war, "sauber" ist; es konnten keine erhöhten Werte von Stickstoff durch ein Leck in der Kunststoffolie festgestellt werden.

7 Summary

The value of liquid animal waste as a fertiliser is well known. As the plants consume by far most of the fertiliser in springtime storage containers are needed. These containers must be large enough to contain the amount for six month (in Germany and Poland), but there are tendencies to demand even longer storage periods.

The methods of disposal and storage of liquid manure are very different world-wide. On the one hand different types and sizes of farms cause this; on the other hand it is also caused by various climatic conditions. The state of the art in Germany as well as in Poland is shown.

There are lots of regulations dealing with the building of slurry, dung and silage juice containers. It is the purpose of these regulations to avoid negative effects on the environment. From the authorities' point of view the problem focuses on the question, whether the containers are "tight" or not. To clarify this question, tests with slurry, water and concrete blocks of a defined quality (B 25 and B 35, water tight) were carried out.

For the first time it could be proved that slurry is a material which can close tiny slits in concrete by its dry matter content. On the whole, the ration between the penetration depth measured with water and with slurry was a mean of 2.4 to 1. The concrete test containers (12 cm) did not allow passage of either water or slurry in any of the studies.

When measured under a plastic lined lagoon the nitrogen content in the soil is low and statistically distributed. This proves that plastic lined lagoons are also "tight" and meet the legal standards.

7 Zusammenfassung

Der Wert flüssiger tierischer Exkremente als Dünger ist allgemein bekannt. Da die Pflanzen den bei weitem größten Teil des Düngers nur im Frühjahr verbrauchen, werden Lagerbehälter benötigt. Diese Behälter müssen groß genug sein um für sechs Monate Lagerzeit auszureichen (in Deutschland und Polen). Es bestehen sogar Bestrebungen, die Mindestlagerzeit zu verlängern.

Die Methoden der Gülleableitung und -lagerung sind weltweit sehr unterschiedlich. Dies wird einerseits durch die verschiedenen Arten und Größen, andererseits auch durch unterschiedliche klimatische Bedingungen verursacht. Der Stand der Wissenschaft hierzu in Deutschland wie auch in Polen ist dargestellt.

Es gibt sehr viele Regelungen über den Bau von Güllelagern, Mistbehältern und Sickersaftsschächten. Zweck dieser Regelungen ist es, negative Einflüsse auf die Umwelt zu vermeiden. Aus Behördensicht spitzt sich das Problem auf die Frage zu, ob die Behälter "dicht" sind oder nicht.

Um diese Frage zu klären, wurden Versuche mit Gülle, Wasser und Betonprobekörpern definierter Qualität (B 25 und B 35, WU) durchgeführt.

Erstmalig konnte bewiesen werden, dass Gülle durch ihren Trockensubstanzgehalt eine selbstabdichtende Wirkung hat. Insgesamt verhielten sich die Eindringtiefen von Wasser zu denen von Gülle unter sonst gleichen Bedingungen im Mittel wie 2,4:1. Bei keinem der Versuche wurden die Betonprobekörper (12 cm) von Wasser oder Gülle durchdrungen.

Die Messung des N-Gehaltes im Boden unter einem ausgebauten, mit Kunststoff ausgekleideten Erdbecken zur Güllelagerung zeigte niedrige Werte bei statistischer Verteilung. Damit können auch mit Kunststoff ausgekleidete Erdbecken als "dicht" im Sinne des Gesetzes bezeichnet werden.

8 Literatur/References

8.1 Gesetze und Regelwerke/Laws and Regulations

A. in Deutschland/in Germany

1. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltgesetz –WHG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil I Nr. 58, Bonn 18. November 1996.
2. Dyrektywa Rady Unii Europejskiej z dnia 12 grudnia 1991 r. w sprawie ochrony wód przed zanieczyszczeniami wywołanymi azotanami ze źródeł rolniczych – 91/676/EEC.
3. DIN 1045 – Beton und Stahlbeton; Beuth-Verlag, Berlin.
4. DIN 11622 – Gärfüttersilos und Güllebehälter; Beuth-Verlag, Berlin.
5. DIN 4030 – Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden, Gase; Beuth-Verlag, Berlin.
6. DIN 4226 – Zuschlag für Beton; Beuth-Verlag, Berlin.
7. DIN 1048 – Prüfverfahren für Beton; Beuth-Verlag, Berlin.
8. DIN 1084 – Güteüberwachung im Beton- und Stahlbetonbau; Beuth-Verlag, Berlin.
9. Alkali-Richtlinie – Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
10. Richtlinie zur Nachbehandlung von Beton; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
11. Richtlinie für Beton mit Fließmittel und für Fließbeton; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin.
12. Katalog wasserwirtschaftlicher Anforderungen an Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Sickersäften; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Düsseldorf, und Länderregelungen.
13. Merkblatt Gärfutter-Flachsilos aus Beton; Bauen für die Landwirtschaft II. 2/1993. Beton-Verlag, Düsseldorf.
14. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 1077: Grundlagen – Flachsilos aus Beton; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
15. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 1085: Beton-Siloplatte mit Gärstoffbehälter; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.
16. VDI 3471; Verein Deutscher Ingenieure, Emissionsminderung Tierhaltung – Schweine.
17. VDI 3472; Verein Deutscher Ingenieure, Emissionsminderung Tierhaltung – Hühner.
18. TierSG; Tierschutzgesetz in der Fassung vom 25.05.1998 (BGBl I. S.1105, ber. S. 1818).
19. SchwV; Verordnung zum Schutz von Schweinen bei Stallhaltung (Schweinehaltungsverordnung) in der Neufassung vom 18.02.1994 (BGBl I. S. 311).
20. SchHaltHygV; Verordnung über hygienische Anforderungen beim Halten von Schweinen vom 07.06.1999 (BGBl. I, Seite 1252).
21. DüngeV; Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26.01.1996 (BGBl I. S. 118), zuletzt geändert durch Verordnung vom 16.07.1997 (BGBl I S. 1851).
22. OwiG; Ordnungswidrigkeitengesetz vom 19.02.1987 (BGBl I. S. 602), zuletzt geändert durch Gesetz vom 09.02.1998 (BGBl I. S. 1438).
23. UmwHG; Umwelthaftungsgesetz vom 10.12.1990 (BGBl I. S. 2634).
24. NDG; Niedersächsisches Deichgesetz vom 16.07.1974 (Nds.GVBl S. 387), zuletzt geändert durch Gesetz vom 11.02.1998 (Nds.GVBl S. 86).
25. BauGB; Baugesetzbuch in der Neufassung vom 27.08.1997 (BGBl I. S. 2141), berichtigt am 16.01.1998 (BGBl. I. S. 137).
26. BauNVO; Baunutzungsverordnung in der Neufassung vom 23.01.1990 (BGBl. I. S. 132), zuletzt geändert durch Gesetz vom 22.04.1993 (BGBl. I. S. 466).
27. NbauO; Niedersächsische Bauordnung in der Neufassung vom 13.07.1995 (Nds.GVBl. S. 199), zuletzt geändert durch Gesetz vom 06.10.1997 (Nds. GVBl. S. 422).
28. NAbfG; Niedersächsisches Abfallgesetz in der Fassung vom 14.10.1994 (Nds.GVBl. S. 467), zuletzt geändert durch Gesetz vom 19.02.1999 (Nds. GVBl. S. 46, 48).
29. VawS; Anlagenverordnung vom 17.12.1997 (Nds.GVBl S. 549).
30. VV-Vaws; Verwaltungsvorschriften zur Anlagenverordnung vom 17.05.1985 (Nds.MBINr.18/85,S.1).
31. TR-VawS 2.1; Anforderungen zur technischen Ausführung von Abfüllplätzen an Tankstellen – Technische Regeln Anlagenverordnung 2.1 – vom 29.01.1992 (Nds.MBI, Nr.10/92S.421).
32. VbF; Verordnung über brennbare Flüssigkeiten vom 27.02.1980 (BGBl I. S. 229), in der Neufassung vom 13.12.1996 (BGBl I, S. 1937).
33. DAFSTB-Richtlinie; Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth-Verlag, 1996.

34. Hessisches Gesetz und Verordnungsblatt; Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe, 1999.
35. Niedersächsisches Gesetz und Verordnungsblatt; Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe – Anhang I: Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften, 1997.
36. Anonymous, Merkblatt „Düngen zur richtigen Zeit“ 1. Auflage 1996; Bundesamt für Landwirtschaft (BWL), Bern 1996; EMDZ, CH-3003 Bern, Form. No. 319.012 d.

B: in Polen/in Poland

1. O zmianie ustawy – Prawo wodne. Ustawa z dnia 25 kwietnia 1997. Dz. U. Nr 47, poz. 299.
2. Zarządzenie Ministra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych z dnia 7 lipca 1986r. w sprawie rolniczego wykorzystania ścieków (M.P. nr 23, poz. 170).
3. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzone do wód lub do ziemi (Dz. U. Nr 116, poz. 503).
4. Ustawa z dnia 16 października 1991 r. o ochronie przyrody (Dz. U. Nr 114. Poz. 492).
5. Ustawa o nawozach i nawożeniu. Ustawa z dnia 26 lipca 2000. Dz. U. Nr 89, poz. 991.
6. Ustawa z dnia 7 lipca 1994. Prawo budowlane (Dz. U. Nr 89, poz. 414, zmiany Dz. U. Z 1997 r. nr 111, poz. 726).
7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 10, poz. 46, zmiany Dz. U. Z 1996 nr 45, poz. 200).
8. PN/B-03200 – Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowania.
9. PN/B-03210 – Konstrukcje stalowe. Zbiorniki walcowe, pionowe na cieczy – projektowanie i wykonanie.
10. PN/B-03264 – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – obliczenia statyczne i projektowanie.
11. PN/B-02009 – Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia stałe i zmienne.
12. PN/B-02010 – Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia śniegiem.
13. PN/B-02011 – Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenia wiatrem.

8.2 Andere Literaturquellen/Other References

1. Achilles S., Fritsche S., Gartung J., Goldenstern H., Hüffmeier H., Kirchner M., Koch. 1990: Beispielhafte Milchviehlaufställe bis 40 Kuhplätze (engl.: Exemplary loose housing stable up to 40 cows); KTBL-Schrift, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Germany, F. R.) 343.
2. Ackermann I., Brand J., Gartung J., Hagemann J., Knies K., Goldenstern H., Hacke-Schmidt A., Hersel O., Klose N., Kowalewsky H.H., Richter T. 1999: Lagerung – Gülle – Festmist – Silage. Bauen für die Landwirtschaft, Verlag Bau + Technik GmbH, 1, 36.
3. Anderson R., Christie P. 1998: Effect of long-term application of animal slurries to grass on silage feeding quality for sheep. J. of the Science of Food and Agriculture, 78, 1, 53-58.
4. Anonym. 1995: Gülleabdeckung – Positive Erfahrungen mit Stroh. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems (Germany), 142 (4), 23-26.
5. Assmussen K.H., Behrend F., Brandt J., Dahms J., Görlicke H.J., Goldenstern H. 1988: Stahlbeton für Güllebehälter; Merkblatt (engl.: Ferroconcrete for slurry pits; Instructional leaflet). Bauen für die Landwirtschaft, 25 (1), 15-16.
6. Baey-Ernsten H. de, et al. 2000: Zukunftswesende Stallanlagen im Außenbereich. KTBL-Schrift 397, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
7. Bahlmann A. 1986: Separieren – Belüften – Verregnen. DLG-Mitteilungen, 2, 72-75.
8. Bauberatung Zement (Hrsg). 1995: Zement Merkblatt Landwirtschaft "Verlegen von Spaltenböden". Bauen für die Landwirtschaft, 2, 28-30.
9. Beckwith C.P., Cooper J., Smith K.A., Shepherd M.A. 1998: Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soil in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. Soil Use and Management, 14, 3.
10. Berge E., Vernhardsson C. 2000: Concrete deterioration in manure cellars. ITF-Rapport, Norges Landbrukshøgskole, NHL. Institutt for Teknisk Fag; Aas (Norway), 111, 45.
11. Blendl H.M. 1984: Die entschärfte Gülle. Agrar praxis, 11, 57-59.

12. Bloecker J. 1984: Bau von massiven Güllelagern – Bauarten. KTBL-Arbeitsblatt 2047 (engl.: Construction of massive slurry reservoirs). Landtechnik 39 (11), 501-504.
13. Bloecker J. 1984: Transportbeton richtig bestellen (engl.: How to order ready mixed concrete). DLZ – Die landtechnische Zeitschrift (Germany, F. R.), 35 (1), 36-38.
14. Bloecker J. 1985: Einsatzgebiete von Beton im landwirtschaftlichen Bereich - Die Anforderungen bestimmen die Qualität. Landtechnik (Germany, F. R.), 40 (2), 96-98.
15. Bode M.C.J. 1990: Vergleich der Ammoniakemissionen aus verschiedenen Flüssigmistlagersystemen (engl.: Comparison of ammonia emissions in different liquid manure storage systems). Landwirtschaftsverlag GmbH (Germany F.R.), 13, 2, 341-344.
16. Boege H. 2000: Bauen für die Tierhaltung im neuen Jahrtausend. Baubriefe Landwirtschaft 1, 9-13.
17. Bottcher A.B. 1993: Agricultural water quality programs in the Lake Okeechobee Basin. Vortrag auf der CIGR-Tagung "Environmental Challenges and Solutions in Agricultural Engineering" vom 1. bis 4.7.1993 in Ås, Norwegen, Proceedings, 153-166.
18. Boxberger J. 1987: Entwicklung bei der Lagerung und Behandlung von Stallmist. Bauen für die Landwirtschaft, 2, 10-14.
19. Boxberger J., Gronauer A. 1989: Gülleprobleme und Lösungsansätze in den Niederlanden – Eindrücke von einer Betontagung in den Niederlanden. Bauen für die Landwirtschaft (Germany, F. R.), 26 (2), 1-4.
20. Boxberger J., Eichhorn H., Seufert H. 1994: Stallmist fest und flüssig – Entmisten, Lagern, Ausbringen. Beton-Verlag, 1-197.
21. Brandt J. 1987: Güllebehälter aus Beton (engl.: Concrete slurry container). Bauen für die Landwirtschaft (Germany, F. R.), 2, 13-15.
22. Brandt J. 1990: Beton für Flachsilos und Silierplatten. Bauen für die Landwirtschaft. Beton-Verlag, Düsseldorf, 2, 16-18.
23. Brand J., Klose N. 1999: Planung and Bau von Gärfutter-Flachsilos. Bauen für die Landwirtschaft. Themaheft: Lagerung von Gülle, Festmist und Silage. Heft 1, 36.
24. Budde F.J. 1984: Guelletransport als Ausweg? Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion. 36 (6), 178.
25. Budde H. 1993: Technik der Güllelagerung (engl.: Techniques of slurry storage). Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion (Germany).
26. Budde H. 1995: Güllelagerung – Im Einzelfall mit Abdeckung (engl.: Slurry storage – if necessary with covered slurry containers). Landwirtschaftsblatt Weser-Ems (Germany), 142 (4), 18-22.
27. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern/Schweiz. 1996: Merkblatt "Düngen zur richtigen Zeit". Vertrieb: EDMZ, Bern, Form. 319012d.
28. Calloni G., Antona D., Moroni P., Nevio A. 1999: New rheological approach helps formulation of gas impermeable cement slurries. Cement and concrete research, 29, 523-526.
29. Dahms J. et al. 1993: Merkblatt Gärfutter-Flachsilos aus Beton. Bauen für die Landwirtschaft 2, 29-32.
30. Damm T. 1991: Milchviehställe aus der Praxis (engl.: Practical experiences with dairy cattle housing). Bauen für die Landwirtschaft (Germany, F. R.), 28 (2).
31. Damm T., Juli R. 2001: Handbuch 2001 Landwirtschaftliche Betriebsgebäude. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 169-173.
32. Diekmann L., Mannebeck H. 1983: Tödliche Gase aus der Gülle und wie sie vermeiden können. Top Agrar, 7, 64-67.
33. Ebeling K., Lohmeyer G. 1996: Dichte Behälter für die Landwirtschaft. Bauen für die Landwirtschaft, 2, 14-17.
34. Eichhorn H. 1999: Landtechnik 7. Auflage, Ulmer-Verlag Stuttgart, 1-688.
35. Ellis S., Yamulki S., Dixon E., Harrison R., Jarvis S.C. 1998: Denitrification and N₂O emissions from a UK pasture soil following the early spring application of cattle slurry and mineral fertiliser. Plant and Soil, 202, 1, 15-25.
36. Englert G. 1993a: Zentimeterdicke Siloschutzschicht – Die verschiedenen Möglichkeiten. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (Germany), 22-24.

37. Englert G. 1993b: Betonschutz und Betonsanierung in der praktischen Erprobung (engl.: Concrete protection and repair in practical tests.). Landtechnik (Germany), 48 (4), 202-205.
38. Epinatjeff P., Havenith D., Jungbluth T. 2000: Instandsetzung von Gärfutter-Flachsiloanlagen. Repairing horizontal silos. Landtechnik, 55, 1, 54-55.
39. Ernst E., Oldenburg J. 1992: Ferkelproduktion. RKL, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (Germany), 4.2.2, 689-851.
40. Freriks J.H. 1984: Niederländische Erfahrungen mit dem Kistenstall für Mastschweine (engl.: Dutch experiences with the „box“ stable). Landtechnik (Germany F.R.), 39 (11), 486-487.
41. Fricke W. 1991: Abdeckung für Güllelager: Effektiv, kostengünstig, praktikabel. KTBL-Arbeitspapier. Darmstadt, 157, 86-92.
42. Gartung J., Krentler J.-G. 1982: Investitionsbedarf für den Bau von Mastschweine- und Zuchtschweineställen. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft, 64, 1-212.
43. Gartung J. 1986: Dacheindeckung für landwirtschaftliche Gebäude (engl.: Roof covers for agricultural buildings). Landtechnik (Germany, F. R.), 41 (2), 97-100.
44. Gartung J., Uminski K., Preiss F. 1997: Investitionsbedarf für Milchviehlaufställe, Mastbullenställe sowie Kälber- und Rinder-Jungviehställe. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 173, 1-98.
45. Gartung J., Knies K. 1999: Investitionsbedarf für Legehennenställe. FAL-Braunschweig, ILB-Institutsbericht 109.
46. Gartung J., Uminski K., Hagemann J. 1999: Investitionsausgaben für den Bau von größeren Zuchtschweineställen. FAL-Braunschweig, ILB-Institutsbericht 108.
47. Gartung J., Uminski K., Hagemann J. 1999: Investitionsausgaben für den Bau von Stallgebäuden zur Systemferkelerzeugung. FAL-Braunschweig, BB-Institutsbericht, 111.
48. Gartung J., Uminski K., Hagemann J. 2000: Investitionsausgaben für den Bau von größeren Schweinemastanlagen. FAL-Braunschweig, BB-Institutsbericht, 110.
49. Gartung J., Uminski K. 2000: Aktualisierter Investitionsbedarf für den Bau von Milchviehlaufställen, Mastbullenställen, Kälber- und Rinder-Jungviehställen sowie Mastschweineställen. BB-Institutsbericht 369. 1.
50. Gartung J., Uminski K. 2000: Aktualisierter Investitionsbedarf für den Bau von Mastbullenställen. FAL-Braunschweig, BB-Institutsbericht 369. 3.
51. Goldenstern H. 1986: Schweineställe – Kostengünstig und funktionsfähig, (engl.: Pig houses – reasonably prices and fully functioning). DLG-Mitteilungen (Germany, F. R.), 101 (9).
52. Goldenstern H. 1988: Sanierung und Schadensregulierung bei bestehenden Güllebehältern (engl.: Reconstruction of slurry containers). Schweineproduzent (Germany, F. R.), 1-2, 12-14.
53. Goldenstern H. 1988: Flüssigmistsysteme im Vergleich (engl.: Systems of slurry manure in comparison; Schweineproduzent (Germany, F. R.), 19 (1), 18-20.
54. Goldenstern H. 1989: Schutz und Instandsetzung von Güllebehältern (engl.: Protection and restoration of liquid waste containers). Schweineproduzent (Germany, F. R.), 20 (6), 11+12, 185-191.
55. Goldenstern H. 1990: Norm für Gärfuttersilos und Güllebehälter DIN 11622 – was fordert sie? (engl.: Norm for silage and slurry DIN 11622 – what does it demand? Schweineproduzent (Germany, F. R.), 21 (2), 50-52.
56. Goldstern H. 1990: Was fordert die Länderarbeitsgemeinschaft für Wasser und Abwasser (Lawa)?, 42 (18), 521-524.
57. Goldenstern H. 1992: Umweltschutzaufgaben bei der Lagerung von Flüssigmist (engl.: Environmental protection with the storage of slurry). Landtechnik (Germany), 47 (10), 512-513.
58. Goldenstern H. 1993: Baupraktische Erfahrungen mit der Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Güllebehältern. Bauen für Landwirtschaft (Germany), 30 (2), 23-25.
59. Goldenstern H. 1994: Die neue Güllebehälternorm. (The new standard of slurry tanks). Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion, 46 (22), 18-20.
60. Goldenstern H. 1996: Sauenställe – Planungsbeispiele (eng.: Sow – examples for planning). RKL, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (Germany), 422, 985-1060.

61. Goldenstern, H. 1999: Erfahrungen beim Bau von Güllebehältern, Gärfuttersilos und Festmistanlagen. Bauen für die Landwirtschaft 36 (1), 14-16.
62. Gorlach E., Mazur T. 2001: Chemia rolna. PWN Warszawa, 155-161.
63. Grimm E., Ratschow J.P. 1993: Ein Biofilter für den Schweinestall? (engl.: A bio-filter for the piggery?). Top agrar (Germany), 4.
64. Hackeschmidt A. 2000: Gewässerschutzrecht bei landwirtschaftlichen Bauvorhaben. (engl.: Water protection laws when planning farm buildings – operator duties come to the foreground). Landtechnik 55 (5), 372-373.
65. Haeni F., Boller E., Bigler F. 1990: Integrierte Produktion – ein ökologisch ausgerichtetes Bewirtschaftungssystem. Integ. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung (Switzerland).
66. Hammer K. 1983: Vergiftungsunfälle bei der Gülleentnahme vermeiden. Landtechnik 10, 423-426.
67. Heller St. 2001: Wohin mit den Hofdüngern im Kartoffelbau? Schweizer Bauer 155, 42, 21.
68. Hersel O. 1992: Wirtschaftswege aus Beton (engl.: Concrete field roads). Bauen für die Landwirtschaft (Germany, F. R.), 29 (1).
69. Hersel O. 1999: Instandsetzen von Güllebehältern aus Stahlbeton. Bauen für die Landwirtschaft; Themaheft: Lagerung von Gülle, Festmist und Silage Heft, 1, 36.
70. Hesse D., Zerbe F., Mannebeck H., Holste D. 1997: Mastschweinehaltung: Sind tier- und umweltfreundliche Systeme möglich? (engl.: Pig fattening husbandry: Are animal and ecological systems possible?). DGS-Magazin (Germany) 6, 44-48.
71. Horning B. 2000: Alternative Haltungssysteme für Rinder und Schweine. Alternative housing systems for cattle and pigs. Berichte über Landwirtschaft 78 (2), 193-247.
72. Hübener J. 1984: Was bringt der Einsatz von Güllezusatzstoffen? DLG-Mitteilung 5, 260-262.
73. Hus J. 1992: Unfälle in der Geflügel- und Schweinehaltung (engl.: Accidents in poultry and pig farming should be avoided). Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion (Germany), 44 (31), 897-899.
74. Hus J., Kutera J., Matusiewicz H., Pietruszewski M. 1994: Effect of slurry and liquid manure and village sewage on the quality of mountain stream water in the Sudety mountains. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rolnictwo, 230, 227-244.
75. Kaczorowski T. 1981: Application of TK – facilities for the liquid manure introduction into soil in sprinkler irrigation systems. XI Congress on Irrigation and Drainage. Part 1, 157-160.
76. Kalembasa S., Kalembasa D., Kania R. 1990: Effect of nitrogen contained in pig and cattle slurry on the yield and chemical composition of selected plants. Roczn. Nauk Roln., A, 109, 1, 145-167.
77. Kalembasa S., Kania R., Kalembasa D. 1990: Evaluation of fertilizing properties of solid fraction of pig liquid manure in the potato yields. Roczn. Nauk Roln., A, 109, 1, 169-180.
78. Kania R., Kalembasa S., Kalembasa D. 1990: Effect of cattle liquid manure nitrogen depending on its application date and rate. Roczn. Nauk Roln. part A, 109, 1, 181-191.
79. Kania R., Kalembasa S., Kalembasa D. 1991: Effect of cattle slurry nitrogen depending on its application date and rate. Part 1. Rye yield. Roczn. Nauk Roln., A, 109, 1. 181-191.
80. Kant P.P.H. 1996: Reducing ammonia emissions by using steel slatted floors. Publikatie – Praktijkonderzoek-Rundvee, -Schapen-en- Paarden. 110, 1-20.
81. Kawecki Z., Kopytowski J. 1989: Influence of cattle slurry upon content of some makro- and mikroelements as well as chlorophyll in black currant leaves. Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstensis. Agricultura (Poland), 48, 199-206.
82. Kawecki Z., Kopytowski J. 1990: Studies on fertilization with cattle liquid manure of black currant bushes. P. 2. Morphologie of plants. Roczn. Nauk Roln., A, 109, 1, 131-144.
83. Kempkens K. 1989: Gülleprobleme in den Niederlanden: Wie unsere Nachbarn einen Ausweg suchen (engl.: Slurry problems in the Netherlands: How our neighbours seek an outlet). Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion (Germany).
84. Klikocka H. 1998: Ustawa o odpadach a ich wykorzystanie w Niemczech i w Polsce. Ekoinżynieria, 4 (29), 37.
85. Klose N. 1988: Dem Bauunternehmer unbedingt „auf die Finger schauen“. Was beim Verarbeiten von Beton zu beachten ist. dlz, die landtechnische Zeitschrift (Germany, F. R.), 39 (7).

86. Klose N. 1989: Stahlbeton für Güllebehälter – Vermeiden von Fehlern beim Bau (engl.: Ferroconcrete for slurry containers – Prevent mistakes while building). Bauen für die Landwirtschaft (Germany, F. R.), 26 (2).
87. Klose, N. 1993: Gärfutter-Flachsilos aus Beton – Beanspruchung aus Betrieb und Umwelt. Bauen für die Landwirtschaft, Beton-Verlag, Düsseldorf, 2.
88. Klose, N. 1994: Durability through quality. Concrete pre-casting plant and technology, 1, 96-100.
89. Klose N., Uppenkamp N. 1994: Umweltgerechte Tankstellen auf landwirtschaftlichen Betrieben (engl.: Environmentally acceptable filling stations on farms). Bauen für die Landwirtschaft (Germany).
90. Kluczek J.P. 1985: Assessment of the sewage-treatment plant of swine manure and environment protection. Internationaler Kongress für Tierhygiene, Hannover, 10-13. 09.1985, Band 2, 685-691.
91. Koc J. 1989: Content of fertilizing elements in slurry; Zawartość składników nawozowych w qnojowicy. Roczn. Gleboznawcze, XL, 1, 269-278.
92. Koc J. 1990: Influence of swine slurry applied to heavy soil on yield of crops. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rolnictwo (Poland), 196 (53), 187-194.
93. Koc J. 1990: The effect of long-term application of swine slurry to a light soil on yield of crops. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Rolnictwo LIII, 196, 199-202.
94. Koc J. 1994: Reaction and sorption property changes of light soil at slurry fertilization. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 413, 185-191.
95. Koch L., Irps H. 1985: Zum Einfluss von Bodenbeschaffenheit und Klima bei der Haltung von Jungrindern. Landtechnik, 40, 9, 406-411.
96. Kowalewski H. H. 1991: Was gibt's neues bei der Gülletechnik. Trendbericht von der Agritechnika 91 Innovat. Top Agrar (Germany, F. R.), 11, 128-131.
97. Kowalewski H.H. 1999: Aufbereiten und Ausbringen von Festmist und Gülle. Bauen für die Landwirtschaft, Themaheft: Lagerung von Gülle, Festmist und Silage. Heft 1, 36.
98. Kowalik P. 2001: Ochrona środowiska glebowego. PWN Warszawa, 156-157.
99. Krentler J.-G. 1993: Low cost building of joint slurry reservoirs with special reference to the organisation of their use. Vortrag auf der CIGR-Tagung "Environmental Challenges and Solutions in Agricultural Engineering" vom 1. bis 4.7.1993 in Ås, Norwegen, Proceedings, 34-44.
100. Krentler J.-G. 1993: Bericht über die baulichen BML-Modellvorhaben. ILB- Institutsbericht, 88.
101. Krentler J.G., Kehr S. 1994: Systematische Sammlung von Bauunterlagen und Projekten des „VEB Landbauprojekts“. ILB-Institutsbericht (Germany).
102. Krentler J.G. 1999: The building of manure storage containers with covers in accordance with new safety standards. Tagungsband AgEng Oslo auf CD, erschienen August `99, 98-B-054.
103. Krentler J.-G., Bockisch F.-J. 2000: Landwirtschaftliches Bauwesen / Farmbuilding. Jahrbuch Agrartechnik, 11, 162-177.
104. Krentler J.G., Gutsch A.W., Weiß D. 2000: Zur technischen Sicherheit beim Bau von Güllebehältern aus Stahlbeton. Landtechnik, 56, 1, 2-3.
105. Krentler J.-G. 2002: Studies on the "tightness" of slurry containers made of concrete. IV International Symposium "Concrete for a Sustainable Agriculture" 21-24 April 2002, Ghent, Belgium, Proceedings (in print).
106. Krentler J.-G., Bockisch F.-J. 2002: Jahrbuch Agrartechnik / Yearbook Agricultural Engineering. Bauen für die Schweine und Geflügelhaltung, 14, 170-174.
107. Kroodsmá W., Huis I.T., Veld J.W.H., Scholtens R. 1993: Ammonia emissions and its reduction from cubicle houses by flushing. Livestock-Production-Science. 35, 3-4, 293-302.
108. Kutera J., Hus S. 1998: Agricultural use of slurry and liquid manure in conditions of water environment protection. Rolnicze oczyszczanie i wykorzystanie ścieków i gnojowicy. A.R. we Wrocławiu, 1-93.
109. Kwieciński A., Turski A., Siarkowski Z. 1993: Automation of the designing process of removal and agricultural utilization of animal droppings. Roczn. Nauk Roln., C. 79 (4), 17-21.
110. Luepfert T., Simon F. 1995: Spurwegebau unter Verwendung von Recyclingmaterial (engl.: Building of track-roads with recycled material). Bauen für die Landwirtschaft.

111. Maćkowiak Cz. 1999: Gnojowica, jej właściwości i zasady stosowania z uwzględnieniem ochrony środowiska; Materiały szkoleniowe 75/99, IUNG. Puławy, 25-27.
112. Mader H.J., Schell C., Kornacker P. 1998: Feldwege – Lebensraum und Barriere. *Natur und Landschaft* (Germany, F. R.), 63 (6), 251-256.
113. Marten J. 1993: Festmist auf Beton lagern – Hinweise zum Bau von Mistplatte und Jauchegrube. *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* (Germany).
114. Marten J. 1995: Bauliche Konzeption und Haltungsverfahren. *Umwelt- und tiergerechte Mastschweinehaltung*. KTBL-Schrift, 363, 88-95.
115. Martens P. 1993: Die Neufassung der DIN 11622 "Gärfuttersilos und Güllebehälter". *Bauen für die Landwirtschaft* 2, 19-20.
116. Martyn E. 1991: Waste not – want not! *Farm buildings and engineering*, 8 (2), 34-36.
117. Matting H.W. 1985: Unfälle mit Flüssigmist vermeiden; 40. Jahrgang. *Landtechnik*, 7/8, 326-327.
118. Matysiak A. 1992: Investigations of the liquid manure sedimentation and dehydration of liquid manure sediments with the straw application. *Wiadomości IMUZ*, XVII, 2, 555-567.
119. Mazur T., Maćkowiak Cz., Koc J. 1984: Comparison of effectiveness of animal slurry nitrogen and commercial fertilizer nitrogen. I. Influence on yield and chemical composition of potato tubers and residual effect on spring barley. *Pam. Puławski*, 82, 229-240.
120. Mazur T., Maćkowiak Cz., Koc J. 1984: Comparison of effectiveness of animal slurry nitrogen and commercial fertilizer nitrogen. II. Influence on yield and chemical composition of rye and maize forage and residual effect on spring barley. *Pam. Puławski*, 82, 241-251.
121. Mazur T., Wojtas A., Sadej W. 1980: Przemiany związków azotowych w czasie przechowywania gnojowicy. *Rocz. Gleboznawcze*, 31 (1), 63-75.
122. Mazur T., Sadej W. 1989: Effects of long-term fertilization with slurry, Farmyard manure and NPK on some chemical and physio-chemical properties of soil. *Rocz. Gleboznawcze*, 40 (1), 147-153.
123. Mazur T., Gonet S.S., Grzebisz W., Marcinek J., Wegner K. 1993: Effect on many year's manure and slurry fertilization on organic carbon content in soils (Humus – agricultural and ecological importance). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 411, 23-28.
124. Meiner H.D. 1993: Genügen Feldwege heutigen Anforderungen? (engl.: Do farm roads meet current requirements?). *Landtechnik* (Germany).
125. Mengis M., Walther U., Bernasconi M., Wehrli B. 2001: Limitations of Nitrate in Agricultural Soils. *Environ. Sci. Technol.*, 35, 1840-1844.
126. Meyer D., Schwankl L.J., Powere J.F., Dick W.A., Kashmanian R.M., Sims J.T., Wright R.J., Dawson M.D., Bezdicsek D. 2000: Liquid dairy manure utilization in a cropping system: a case study. *Landapplication of agricultural, industrial, and municipal by-products*. 409-423.
127. Möller M. 1992: Stallbautechnik (engl.: Stall engineering). *Landtechnik* (Germany, F. R.), 47 (1-2), 49-50.
128. Müller H. 1986: Planung und Ausführung von Spurwegen (engl.: Planning and construction of track roads). *Bauen für die Landwirtschaft* (Germany, F. R.), 23 (1).
129. Nosal D. 1997: Schadgase in Milchvieh-Laufställen. *FAT Berichte* 500.
130. Nydegger F., Schick M., Ammann H., Schlatter M. 1997: Boxeneinstreu: nur so kurz wie nötig! *FAT Berichte*, 509.
131. Ober J., Koller G. 1996: Rindviehställe – Planung, Bau, Einrichtung. *BLV-Verlag München*, 26-28.
132. Oosthoek J., Kroodsmas W., Hoeksma P. 1990a: Betriebliche Maßnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen aus Ställen. *Münster* (Germany, F. R.), *Landwirtschaftsverlag*, 291-293.
133. Oosthoek J., Kroodsmas W., Hoeksma P. 1990b: Operational measures of reducing ammonia emissions from animal housing. (Ammoniak in der Umwelt. Kreisläufe, Wirkungen, Minderung). *Proceedings of a Conference held in Braunschweig, Germany, 10.-12.11.1990*. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), P. 29.
134. Oosthoek J., Kroodsmas W., Hoeksma P. 1991: Ammonia emissions from dairy and pig housing systems. *Odour and ammonia emissions from livestock farming*. *Proceedings of a seminar*. Silsoe, UK, 26.-28.03.1990, (edited by Nielsen, V.C). London, UK; Elsevier, 31-41.

135. Patni N.K., Jui P.Y. 1991: Nitrogen concentration variability in dairy-cattle slurry stored in farm tanks. *Transactions of the ASAE*, 34 (2), 609-615.
136. Pawlak M. 1996: Agricultural production and natural environment – an attempt to evaluating situation on example of studied catchment area. *Probl. Inż. Roln.*, 2, 123-136.
137. Pawlicki T. 1999: Topical trends in the development of Denmark's Agriculture and agricultural machinery industrie. *Prace Przem. Inst. Maszyn Roln.*, 44 (3), 9-12.
138. Peet-Schwering C.M.C. v.d., Hartong L.A. d. 2000: Manipulation of pig diets to minimize the environmental impact of pig production in the Netherlands. *Pig News and Information*. 21, 2.
139. Pietrzak S., Sapek A., Sapek B. 1998: Experience of the EPA and BAAP projects in building manure pits on the farms. *Inż. Roln.*, 1, 45-54.
140. Ratschow J.P. 1982: Deckel gegen Geruch. *Bauernzeitung, Brandenburg*, 33 (4), 20-21.
141. Ratschow J.P. 1994: ... damit die Gülle weniger stinkt. Möglichkeiten der Geruchsminderung bei Flüssigmist-systemen (engl.: ... in order that liquid manure less smell foul. Possibilities of odour reduction by slurry systems). *Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion*.
142. Reinhard H. 1987: Bauweisen und Anforderungen an Güllebehälter (engl.: Modes of construction and requirements for slurry containers). *Schweinezucht und Schweinemast*, 35.
143. Richter T. 1999: Instandsetzen von Gärfutter-Flachsilos. Bauen für die Landwirtschaft. Themenheft: Lagerung von Gülle, Festmist und Silage, 1, 36, 22-24.
144. Romaniuk W. 1999: Ecological systems development for farmyard manure and slurry. *Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą*. IBMER, Warszawa, 1-114.
145. Romaniuk W. 2000: *Ekologiczne systemy gospodarki obornikiem i gnojowicą*. IBMER, Warszawa, 1-120.
146. Romejko R. 1986: Use of electroosmosis for dewatering cattle excrements. *Roczn. Nauk Roln.*, C, 7 (3), 57-64.
147. Rossig K. 1984: Der Einsatz von Nitrifikationshemmern in Gülle. *Landtechnik*, 7-8 (39), 373-375.
148. Roszyk E., Szerszeń L. 1989: Fertilization effect on the chemical composition of underground waters. *Rocz. Gleboznawcze*, 40 (2), 189-201.
149. Sawicki B., Wiater J. 1994: The effect of fertilizing with slurry and mineral fertilizers on the changes in available nutrients content in soil. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 413, 269-276.
150. Schade K. 1990: Anstriche für die Landwirtschaft. *BfL* 2/90, 19-22.
151. Schaub J., Friedli K., Wechsler B. 1999: Weiche Liegematten für Milchvieh-Boxenlaufställe. *FAT-Berichte* 529.
152. Schleitzer G. 1987: Verfahren der Schweineproduktion in der DDR (engl.: Methods of pig production in the DDR). *Deutsche Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion (Germany, F. R.)*.
153. Scholtens K. 1990: Ammoniakemissionsmessungen in zwangsbelüfteten Ställen (engl.: Ammonia emission in ventilated animal houses). *Münster (Germany, F. R.), Landwirtschaftsverlag*, 20, 1-20.
154. Schweizer F.W., Seufert H. 1983: Geruchsverminderung von Schweineflüssigmist durch oxidative Bindung der Hauptgeruchsstoffe. *Der Tierzüchter*, 3, 108-111.
155. Seufert H. 1989: Entwicklungen bei der Lagerung und Behandlung von Flüssigmist (engl.: Trends in storing and handling of slurry). *Bauen für die Landwirtschaft (Germany, F. R.)* 26 (2), 6-11.
156. Skjelhaugen O.J. 1992: Aerobic treatment integrated in a closed liquid manure management system. *CIGR Seminar, Poland, September 1992*; 1-10.
157. Skjelhaugen O.J., Donantonio L. 1998: Combined aerobic and electrolytic treatment of cattle slurry. *J. of Agric. Eng. Res.* 70 (2), 209-219.
158. Soo J.B., Hoon K.J., Ho K.H., Taell K., Dae H.J., Byoung S.J. 1998: Pig waste water treatment by a modified activated sludge process using autoclaved lightweight concrete as contact media. *RDA J. of Agro-Environ. Science*, 40 (1), 85-88.
159. Steffens G., Klasinsk A., Lorenz F. 1990: Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmistbehältern und nach Gülle-ausbringung bei unterschiedlichen Güllezusätzen (engl.: Ammonia release form liquid manure storage tanks and after slurry application with different slurry additives). *Münster, Germany, Landwirtschaftsverlag GmbH*, 361-367.

160. Steiner B., Keck M. 2000: Stationäre Entmistungsanlagen in der Rinder- und Schweinehaltung. FAT Berichte, 542, 1-18.
161. Strączyńska S., Dębicki R., Filipiek T., Gliński J., Sikora E. 1994: Influence of fertilizing with manure on the soil acidity natural and anthropogenic causes and effects of soil acidification. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 413, 283-285.
162. Szeptycki A. 2000: Problems of technical infrastructure an rural areas. Probl. Inż. Roln., 1, 65-70.
163. Talabani S., Hareland G., Islam M.R. 1999: New additives for minimizing cement body permeability. Energy Sources, 21, 163-176.
164. Tautz D., Westendarp H. 1994: Lagerung – Gülle unterm Zelt. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems (Germany), 141 (4), 31-32.
165. Vargova M., Ondrasovicova O., Sasakova N., Ondrasovic M., Novak P., Krajnak M. 1999: Effect of natural zeolite (clinoptilolite) on microbial decomposition process in stored pig-slurry solids. Folia – Microbiologica, 44 (6), 729-734.
166. Vermeer H.M., Altena H., Vrielink M.G.M. 1995: Floor design and dirtiness in pens for weanling piglets. Proefs-verlag Proefstation voor de Varkenshouderij, 1, 138, 1-20.
167. Vogt C. 1982: Hochbehälter zur Güllelagerung. Schweinezucht und Schweinemast, 11, 356-358.
168. Vonholt K. 1985: Fachgerechte Verwendung von Beton dargestellt am Beispiel Güllebehälter. Landtechnik (Germany, F. R.), 40 (2), 99-102.
169. Vonholt K. 1986: Güllelagerung – Erfahrungen der Bauberatung – Bauausführung – Baumaterialien. Baubriefe Landwirtschaft (Germany, F. R.), 29, 13-21.
170. Vonholt K. 1990: Planung und Bau von Flachsilos und Silierplatten. Bauen für die Landwirtschaft, Beton-Verlag, 2, 11-16.
171. Walter U. 1993: Gülle im Ackerbau – gezielt einsetzen und verlustarm ausbringen. Die Grüne, 14, 22-24.
172. Walter U. 1994: Gülle verdünnen, verdünnen. UFA-Revue, 9, 13-14.
173. Walter U. 1995: Hofdünger – Einsatz im Acker und Futterbau. Der Landfreund, 11, 1-8.
174. Walter U. 1998: Beim Güllen entscheiden Menge, Gehalt und Wetter über N-Wirkung. Agrarforschung, 5 (2), 77-80.
175. Walter U., Kessler W. 1998: Der Stickstoff ist knapp – was nun? Pas assez d'azote – que faire? UFA-Revue, 3, 22-24.
176. Walter U., Weisskopf 2001: 50 Jahre organische und mineralische Düngung: Humusgehalte, N-Ausnutzung und N-Bilanzen. Arch. Acker – Pfl. –Boden, 46, 265-280.
177. Walter U. 2001: Stickstoffeffizienz von Stallmist in langjährigen Versuchen. Tagungsunterlagen FAL (CH)-Tagung „Neue Erkenntnisse zu Stickstoff im Ackerbau“. FAL (CH)-Reckenholz, 6. April 2001.
178. Wenner L. et al. 1980: Landtechnik Bauwesen, Teil B Verfahrenstechniken – Verfahren der tierischen Produktion/Schweinehaltung. Münster/München, 1-427.
179. Wierzbicki K., Palmowski J., Rudnik K., Sadowska M., Józkwowski T. 2000: Mobile silos for silage and storages for animals wastes investor guidebook. IBMER, Warszawa, 1-88.
180. Witzel E. 1982: Anlage und Befestigung von Hof und Wegeflächen. Landtechnik (Germany, F. R.), 37 (10), 466-468.
181. Witzel E., Metzner R. (Red.). 1984: Bau von Güllebehältern aus Beton-Formsteinen. Bauberatung Zement, Verlag W. Rumpelstin, Burgdorf.
182. Xiao Jun Q., Zuo Rui S., Qing Yun C., Chao W. 2000: Design and realization of general computer monitoring and controlling system for environment of agricultural facilities. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 16 (3), 77-80.
183. Zaehner M. 2000: Minimalställe für Milchkühe. FAT-Berichte (Schweiz), 553, 1-12.
184. Zeisig H.D., Longenegger G. 1975: Geruchsbeseitigung bei der Förderung, Lagerung und Ausbringung von Flüssigmist. Landtechnik, Weihenstephan, 1-59.

Anhang/Annex



Penetration test with water
concrete quality B 25

Beton B25: Eindringversuche mit Wasser



Penetration test with slurry from cattle
concrete quality B 25

Beton B25: Eindringversuche mit Gülle



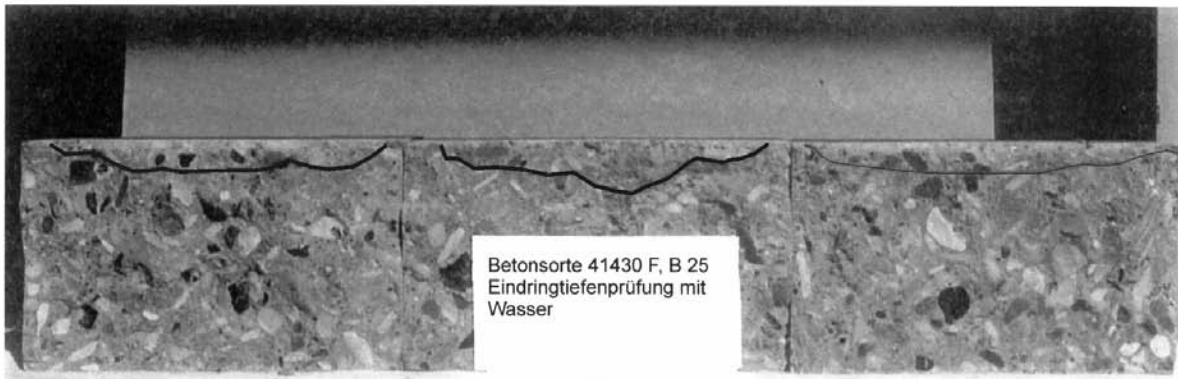
Penetration test with water
concrete quality B 35

Beton B35: Eindringversuche mit Wasser



Penetration test with slurry from cattle
concrete quality B 35

Beton B35: Eindringversuche mit Gülle



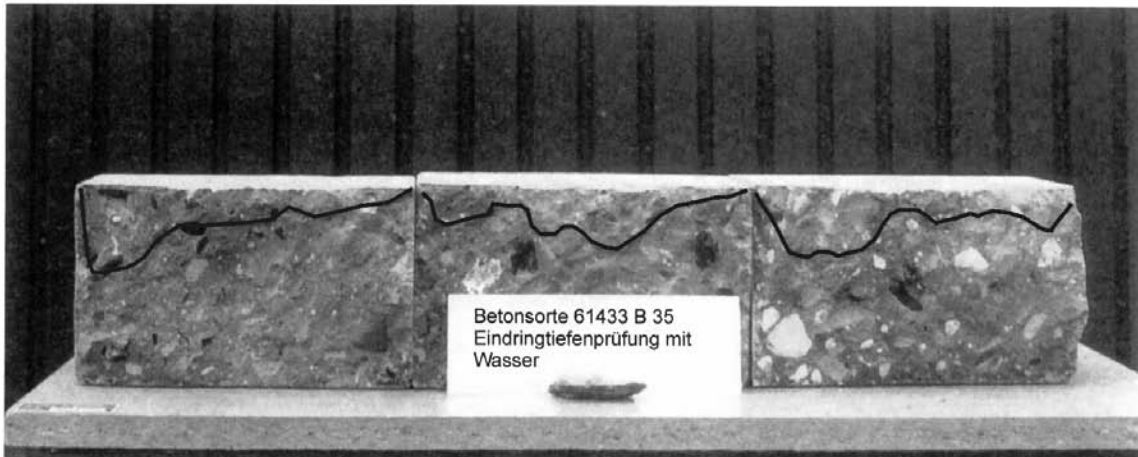
Penetration test with water
concrete quality B 25

Beton B25: Eindringversuche mit Wasser



Penetration test with slurry from cattle
concrete quality B 25

Beton B25: Eindringversuche mit Gülle



Penetration test with water
concrete quality B 35

Beton B35: Eindringversuche mit Wasser



Penetration test with slurry from cattle
concrete quality B 35

Beton B35: Eindringversuche Gülle



Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 317
Special Issue

Preis / Price 12€

