

Kanaltechnik Geiger & Kunz GmbH & Co. KG

Abschlussbericht

**Entwicklung eines miniaturisierten
Rohrsanierungsgeräts für den Hausanschlussbereich**

Für die

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

AZ 14863-23

Gliederung

1. Zusammenfassung

1.1 Ökologische und Ökonomische Gesichtspunkte Förderprojekt

1.1.1. Grundlage

1.1.2. Ökonomische Gesichtspunkte

1.2.3. Ökologische Gesichtspunkte

2. Beschreibung des Roboters

2.1. Fräskopf

2.2. Antriebsmodul mit Fräsmotor

2.3. Vorschubmodul

2.4. Schnittstellenmodul

3. Projektablauf

4. Aufgabenerklärung

5. Konzeptphase

6. Auswahl der besten Teillösungen

7. Konstruktion

8. Prototypenbau

9. Tests

10. Beurteilung

11. Weiterentwicklung

12. Zeichnungen

13. Beteiligte Firmen

14. Literaturverzeichnis

15. Abbildungsverzeichnis

1. Zusammenfassung

Es wurde ein Kanalsanierungsroboter entwickelt, der als Satellit von einem großen Roboter im Hauptkanal in den Hausanschlusskanal mit minimal 100 mm Durchmesser abgesetzt werden kann und dort Fräsarbeiten verrichten soll.

Zunächst wurden intensiv verschiedene Konzepte erarbeitet und bewertet und daraus das Beste ausgewählt. Auf Basis der daraus erstellten Fertigungszeichnungen wurde ein Prototyp gebaut, der zunächst ohne Anschluss an einen Hauptroboter in Betrieb genommen und getestet wurde (Bild 1).



Bild 1: Prototyp des Satellitenroboters

Der Roboter ist im Handbetrieb funktionsfähig und kann sich sowohl mit Hilfe eines Schubrohres, als auch selbständig durch hydraulisch / pneumatischen Antrieb in einem Rohr bewegen.

Die Tests mit dem Prototypen waren erfolgreich. Eine Weiterentwicklung zur Serienreife ist sinnvoll.

1.1.1. Grundlage

Gesamtlänge Abwasserkanäle und –leitungen in Deutschland mit Schadenspotential

Ca. 1.500.000 km, davon ca. 30-50% undicht

Städtische Kanäle:

450.000 km, davon ca. 15% undicht

Dies macht deutlich, wie wichtig eine ökonomisch und ökologisch sinnvolle Sanierungsmöglichkeit der Kanäle- und Grundleitungen ist.

1.1.2. Ökonomische Gesichtspunkte

- Finanzielle Belastung des Hausbesitzer bzw. von Mietern wird niedriger, da die geschlossene Sanierung kostengünstiger ist.
- Kläranlagen können wirtschaftlicher betrieben werden, da weniger Grundwasser in die Kläranlage gelangt und somit weniger Abwasser behandelt werden muss. Der Klärprozess funktioniert besser mit geringerem Grundwasser/Fremdwasser-Anteil.

→ Senkung der Kanalgebühren

- städtische Kanalnetze können wirtschaftlicher betrieben werden, da die Belastung und Dimensionierung durch einen niedrigeren Grundwasser/Fremdwasser-Anteil geringer ist

→ Senkung der Kanalgebühren

1.1.3. Ökologische Gesichtspunkte

- Belastung von Kläranlagen durch Infiltration von Grundwasser wird erheblich reduziert. Die Vermischung von sauberem Grundwasser mit Abwasser erhöht die in der Kläranlage zu verarbeitende Wassermenge erheblich und macht die biologischen Prozesse schwieriger, da dass Abwasser zu „sauber“ ist.
- Gefahr durch Exfiltration von Abwasser aus undichten Kanäle wird geringer
- Belastung der Umwelt durch grabenlose Sanierung geringer

2. Beschreibung des Roboters

In Bild 2 ist der Satellitenroboter mit den drei Funktionsmodulen für Fräskopf, Fräsmotor und Vorschub, sowie dem Schnittstellenmodul und dem Schubrohr dargestellt.

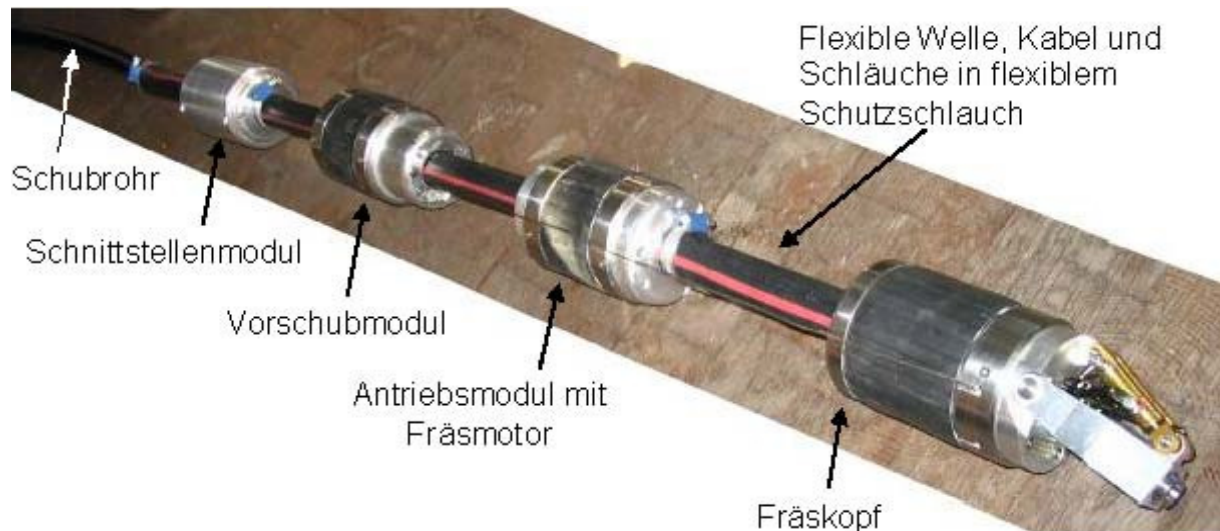


Bild 2: Funktionsmodule

Durch die Forderung nach Beweglichkeit des Roboters im 100 mm Rohr mit 90° - Bögen steht für ein starres Segment maximal eine Länge von ca. 120 mm bei ca. 70 mm Durchmesser zur Verfügung. In einem derart kurzen Segment haben nicht alle erforderlichen Funktionen Platz. Insbesondere die Motoren für den Fräsantrieb und die Fräskopfverstellung benötigen mehr Bauraum. Deshalb wurden die Funktionen auf einzelne Module verteilt. Die Module werden jeweils durch einen flexiblen Schlauch verbunden, der Kabel und Hydraulik- und Pneumatikschläuche schützt und Schubkräfte überträgt. Das Moment aus dem Fräsmotor wird mittels flexibler Welle auf den Fräskopf übertragen.

2.1. Fräskopf

Der Fräskopf dient zur Aufnahme und Bewegung des Fräasers. Der Fräser kann mittels zweier Hydraulikzylinder geschwenkt werden. Durch den Einsatz einer Drehdurchführung und eines Motor mit hochübersetzendem Getriebe kann der Schwenkarm mit dem Fräser ohne Anschlag in beiden Richtungen unbegrenzt gedreht werden.

Der Antrieb des Fräfers erfolgt durch eine biegsame Welle, die vom Fräsermotor angetrieben wird. Am Schwenkarm befindet sich (nicht sichtbar) eine Kamera. In der drehbaren Platte sind Leuchtdioden zur Beleuchtung integriert.



Bild 3: Fräskopf

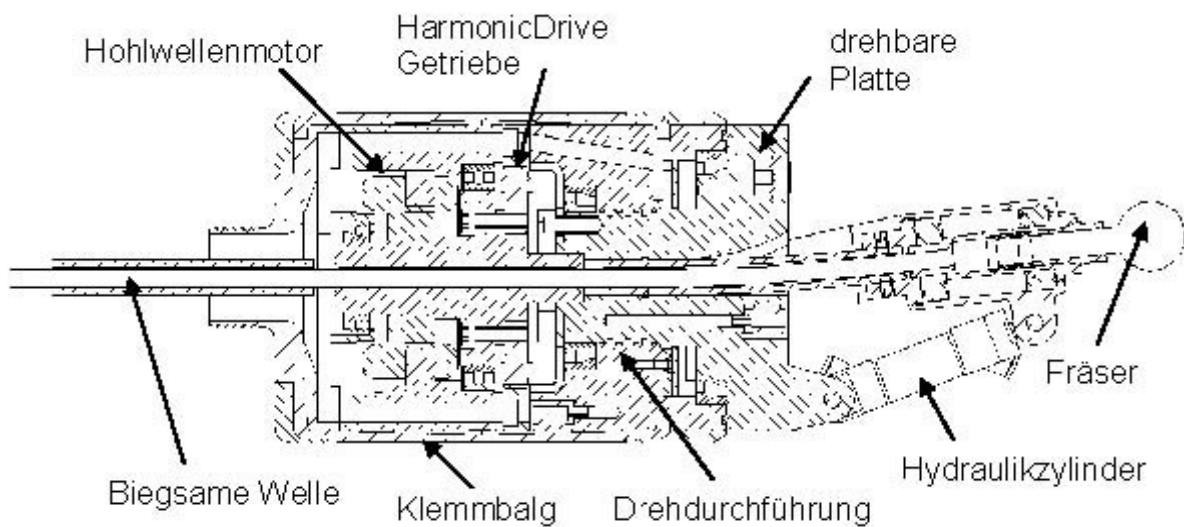


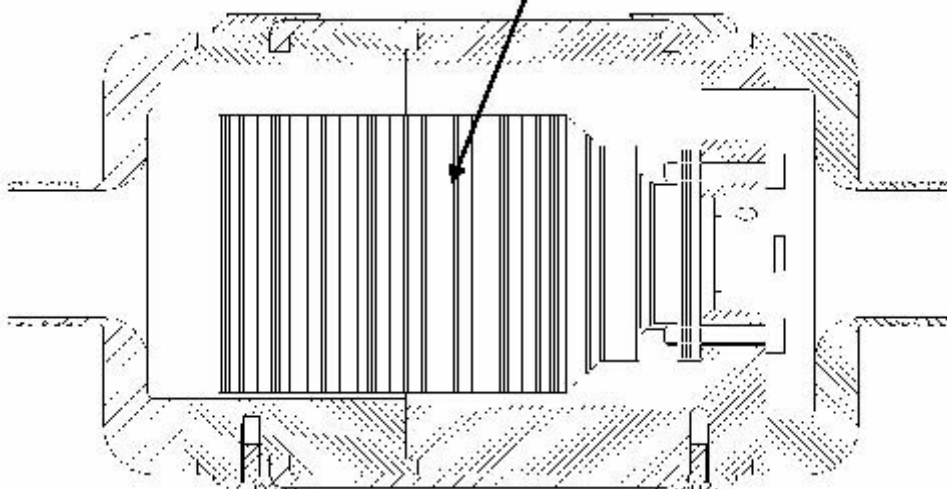
Bild 4: Schnittzeichnung Fräskopf

2.2. Antriebsmodul mit Fräsmotor

Der Fräsmotor hat als Standardmotor eine Leistung von ca. 400 Watt. Er kann stufenlos in einem Drehzahlbereich von 0 +/- 4700 min⁻¹ geregelt werden.



5: Fräsmotor im verkabelten Antriebsmodul



2.3. Vorschubmodul

Der Vorschub des Roboters erfolgt durch wechselndes Verklemmen der Module im Rohr mittels Aufblasen der Klemmbälge und hydraulisches Vorschieben des Vorschubmoduls.



Bild 7: Vorschubmodul ausgefahren und eingefahren

Pneumatikbalg

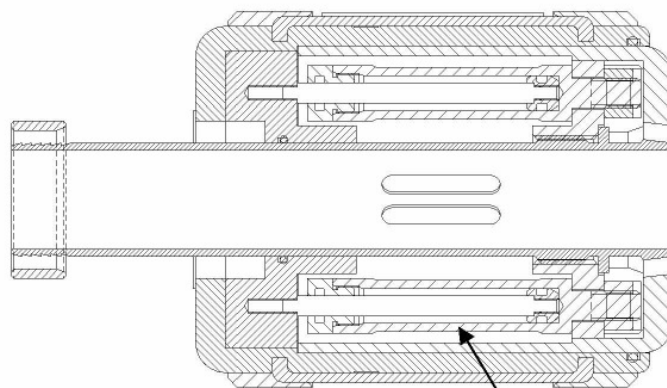


Bild 8: Schnittzeichnung Vorschubmodul

Hydraulikzylinder



Bild 9: Blick in das Vorschubmodul

2.4. Schnittstellenmodul

Um den Roboter schnell vom Versorgungsstrang am Schubrohr abzukoppeln wurde ein zusätzliches Modul angebracht. Dort können Elektrokabel verklemmt werden und Hydraulik- und Pneumatikschläuche mit Schnellkupplungen verbunden werden. Außerdem sind Schnellentlüftungsventile für die Klemmbälge sowie eine Kamera für die Rückfahrt eingebaut.



Bild 10: Schnittstellenmodul

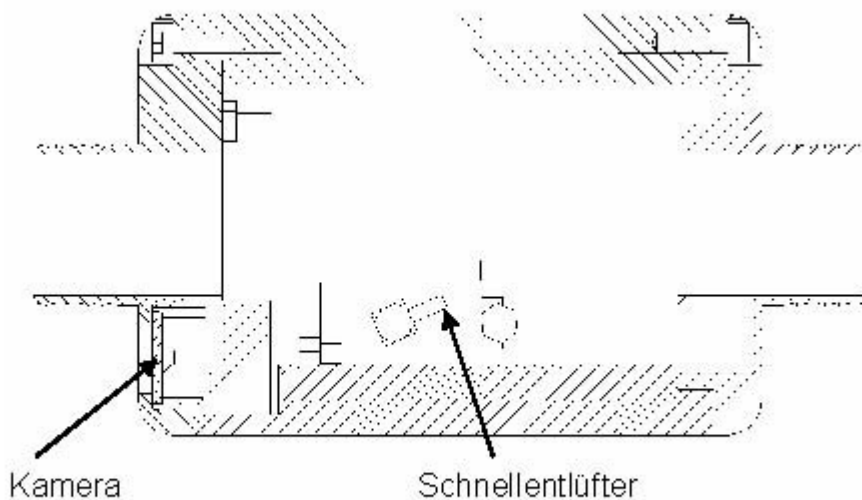


Bild 11: Schnittzeichnung des Schnittstellenmoduls

3. Projektablauf

Das Entwicklungsprojekt startete im März 2003 und endete mit dem Test des Prototyps im August 2004. Drei Professoren der FH-Kempten, zwei wissenschaftliche Mitarbeiter, zwei Diplomanden, ein Labormeister und das Werkstattpersonal der FH waren insgesamt ca. 6000 Stunden mit diesem Projekt beschäftigt. Die einzelnen Arbeitsschritte waren:

1. Aufgabenklärung
2. Konzeptsuche und Auswahl
3. Konstruktion
4. Prototypenbau und Test

4. Aufgabenklärung

Die wichtigsten Anforderungen an den Satellitenroboter waren:

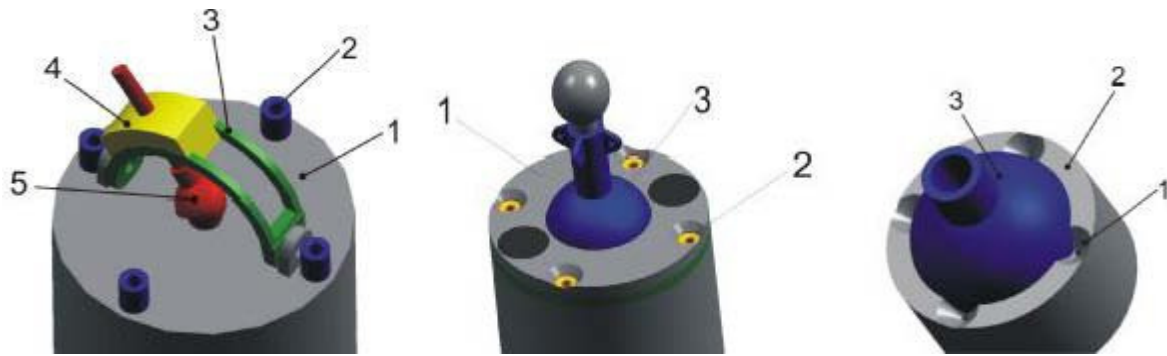
1. Ausführen von Fräsarbeiten im Hausanschlusskanal
2. Satellitenfunktion durch Anbindung an einen Hauptkanalroboter
3. Bewegung im 100 mm Rohr mit 90°-Bögen
4. Entfernung zum Servicewagen bis 70m.

Am schwierigsten zu erfüllen ist die Forderung nach der Bewältigung von 90°-Bögen im 100 mm Rohr und das mit ausreichender Leistung für präzise Fräsarbeiten. Systeme, die diese Anforderungen erfüllen sind nicht auf dem Markt.

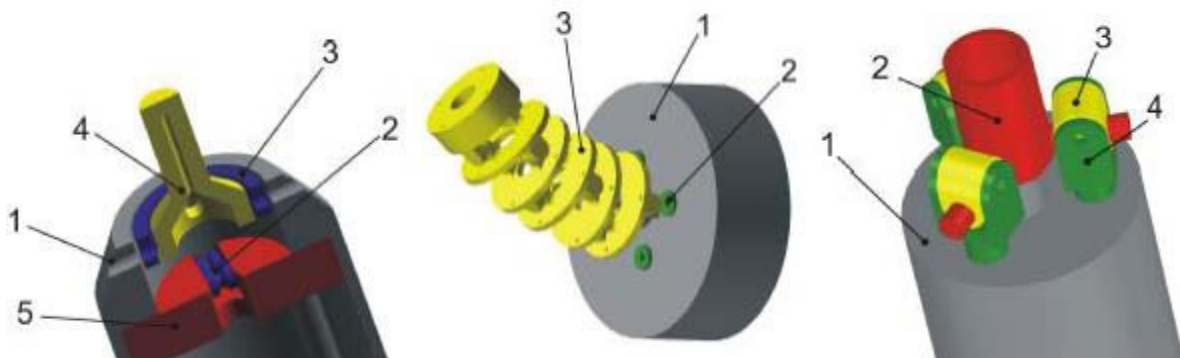
5. Konzeptphase

Sehr schnell hat sich herausgestellt, dass die Funktionen für den Fräsantrieb und die radiale und axiale Verstellung des Fräsers aus Platzgründen nicht in einer Einheit realisiert werden können. Deshalb wurden die Funktionen in mehrere Module aufgeteilt. Für die Teilfunktionen wurden mehrere Konzepte erstellt und daraus jeweils das Beste ausgewählt. Einige wichtige Konzepte sind im folgenden morphologischen Kasten dargestellt.

1. Fräskinematik



Bügel mit Seilzug Kugelgelenk mit Seilzug Hohlkugel mit Seilzug



Kardanische Aufhängung Segmentfinger Taumelscheibe



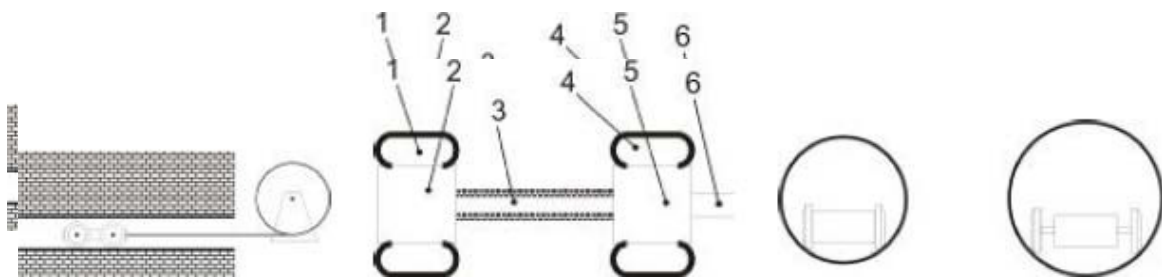
Parallelogramm und Drehdurchführung Schwenkarm und Drehdurchführung

2. Fräsmotor



Elektrisch Pneumatisch Hydraulisch

3.Vorschub



Schubrohr Pneumatische Klemmschritte Räder

4. Fräserzustellung

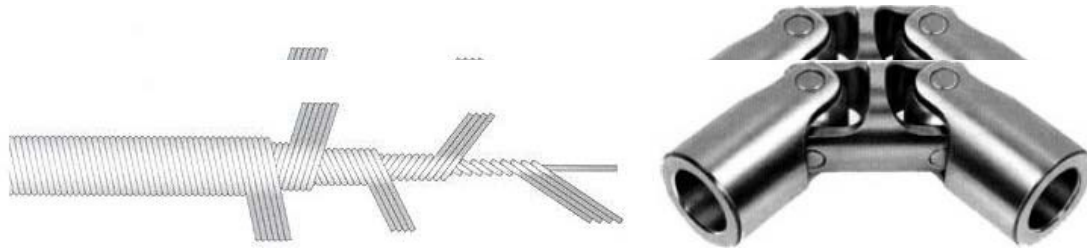


Schrittmotor Pneumatikmuskel Linearmotor



Hydraulikzylinder

5. flexible Motoranbindung



biegsame Welle Kardangeln



Gleichlaufgelenk

6. Auswahl der besten Teillösungen

Maßgeblich wird das Gesamtkonzept durch die Wahl der Fräskinematik beeinflusst. Die Konzepte ohne Drehdurchführung erfordern fast alle Seilzugbetätigung, da weder hydraulische bzw. pneumatische noch elektrische Direktantriebe mit den erforderlichen Stellkräften in kleinen Abmessungen zu bekommen waren. Diese Seilzuganbindung ist in Rohrbögen wegen unterschiedlicher Seillängung sehr schwierig zu realisieren. Darüber hinaus haben diese Konzepte grundsätzlich das Problem, dass eine Steuerung nicht mehr nach Sicht und Gefühl des Bedieners, sondern nur mit aufwändigen Wegmesssystemen möglich ist.

Die Lösungen mit Drehdurchführung haben zwar die Problemzone der Dichtung bei Drehbewegung, sind aber dennoch einfach zu gestalten und zu bedienen. Deshalb fiel die Entscheidung auf ein System mit Drehdurchführung. Ein weiterer Meilenstein bei der Konzeptauswahl war die Wahl der Energieform des Fräsmotors. Für alle drei Energieformen (Pneumatik, Hydraulik, Elektrik) sind Lösungen möglich. Nachteile des Luftmotors in der geforderten Leistung sind der extrem hohe Luftverbrauch, der sowohl bei der Erzeugung, der Zufuhr und auch bei der Abfuhr im Abwasserrohr große Probleme bereitet. Der Hauptnachteil eines Hydraulikmotors ist, dass wir keinen

Standardmotor in den geforderten Abmessungen bekommen konnten. Ebenfalls nicht unproblematisch ist die Zufuhr der benötigten Ölmenge. Ansonsten hat der Hydraulikmotor die höchste Leistungsdichte. Die Entscheidung fiel auf einen Elektroantrieb, weil Standardmotoren in der benötigten Größe und Leistung auf dem Markt sind, weil die Steuerung einfach ist und die Energiezufuhr verhältnismäßig einfach mit Elektrokabeln möglich ist.

Analog dazu wurde für die Drehbewegung des Fräskopfes ebenfalls ein Elektromotor gewählt. Allerdings mit Hohlwelle und hochübersetzendem Harmonik Drive Getriebe. Die Hohlwelle ist zur Durchleitung der biegsamen Welle vom Antriebsmotor erforderlich. Das Getriebe braucht man, da Schrittmotoren mit den erforderlichen Kräften für den Fräservorschub nicht als Standardmotoren erhältlich sind.

Alternativen zur gewählten Drehmomentübertragung vom Fräsmotor zum Fräser mittels flexibler Welle sind Kardanwelle und Gleichlaufgelenk. Die flexible Welle fügt sich am besten in das Modulkonzept des Roboters ein und ist ein leicht erhältliches Kaufteil.

Für den schnellen Vorschub des Roboters wurde auf ein bei Inspektionsrobotern bewährtes System mit Schubrohr zurückgegriffen. In kritischen Situationen, z.B. in engen Bögen, bzw. beim Fräsen kann statt des Schubrohres mittels Hydraulikzylinder im Vorschubmodul zugestellt werden. Die Kraftübertragung zum Rohr erfolgt mit einem bewährten System aus aufblasbaren Gummibälgen.

Die Schwenkbewegung des Fräskopfes erfolgt ebenfalls durch Hydraulikzylinder. Elektrische oder pneumatische Stellantriebe waren in den erforderlichen Abmessungen und Leistungen nicht erhältlich.

7. Konstruktion

Alle Bauteile des Roboters wurden als 3D-Volumen mit CAD modelliert. Die Bauteile sind in die Unterbaugruppen Fräsmodul, Antriebsmodul (mit Fräsmotor), Vorschubmodul und Schnittstellenmodul eingebaut. Für alle Baugruppen und alle Einzelteile wurden Fertigungszeichnungen erstellt. Beim Bau des Prototyps wurden diese Zeichnungen, falls dies erforderlich war, korrigiert. Die Zeichnungen sind in Kapitel 12 zusammengefasst.

8. Prototypenbau

Alle Bauteile, die nicht gekauft werden konnten, wurden in der Werkstatt der Fachhochschule Kempten gefertigt. Dies hatte den großen Vorteil, dass bei Rückfragen sofort reagiert werden konnte und Änderungen am Teil bzw. an den Zeichnungen unmittelbar möglich waren. Auch bei der Montage und den Tests waren noch Änderungen und neue Bauteile erforderlich, die schnell und einfach umgesetzt bzw. hergestellt werden konnten. Für die Fertigung, die Montage, die Tests und die Anpassung des Prototyps waren ca. 6 Monate erforderlich.

9. Tests

Die Tests waren sowohl Funktionstests der einzelnen Module (Fräsantrieb, Fräskopf, Vorschub) als auch Tests zur Fortbewegung des Gesamtsystems in Abwasserrohren mit 90°-Bogen. Dazu wurde ein funktionsfähiges System über 10 m Anschlussrohr bzw. 10 m Schläuche und Kabel mit einer Steuerung für Elektronik, Pneumatik und Hydraulik verbunden.



Bild 12: Robotersteuerung und Hydraulikaggregat

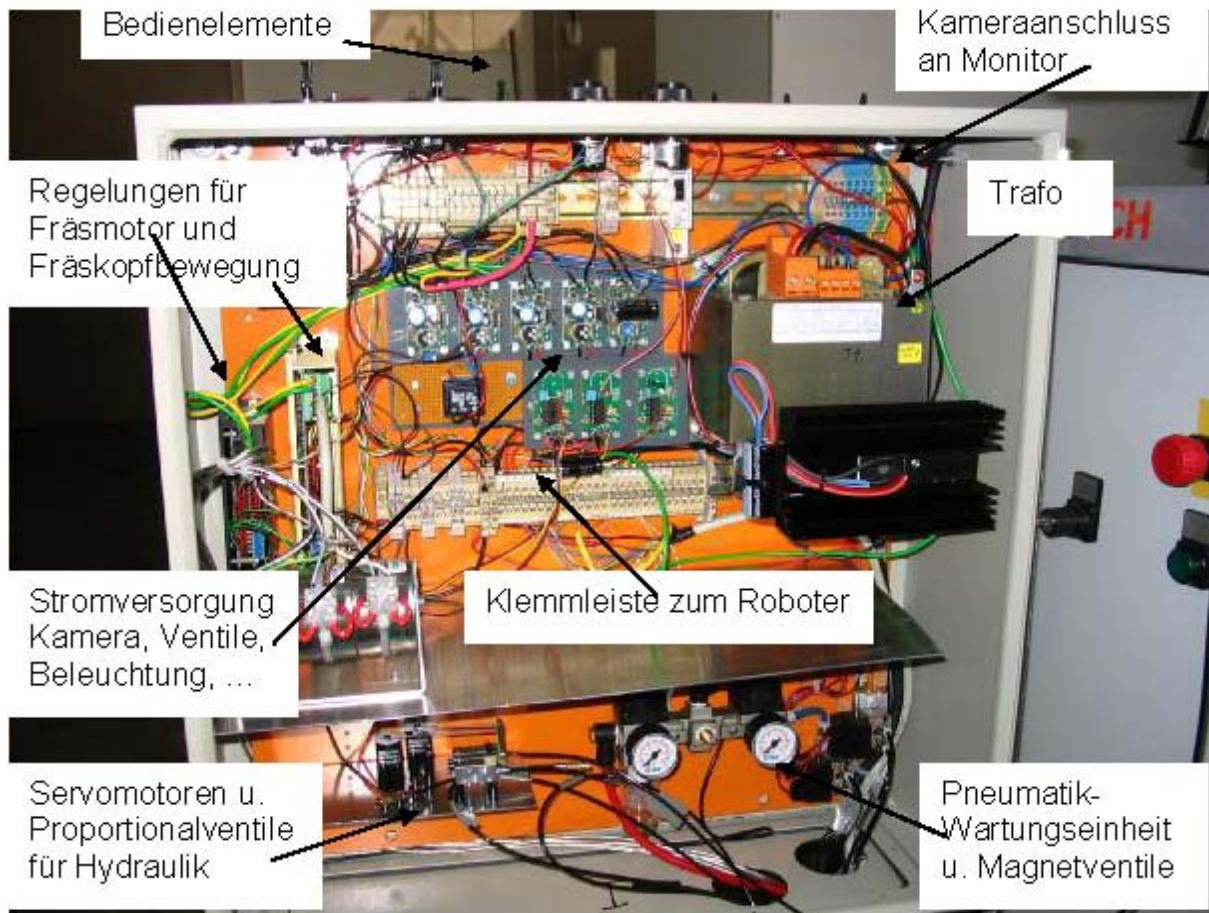


Bild 13: Robotersteuerung

11. Weiterentwicklung

Eine Weiterentwicklung des Satellitenroboters auf der Basis des vorgestellten Prototyps zu einem Vorserienprodukt erscheint sehr sinnvoll. Dazu sind folgende Teilaufgaben zu bearbeiten:

11.1 Grundlagen:

-Ermittlung der Vorschub- und Reaktionskräfte auf den Hauptroboter durch die Vorschubbewegung und den Schlauchtransport, -Abstimmung und Tests für den Anschluss eines 70 m – Kabelstranges, -Konzeptstudie zur Krümmungsanpassung der Schlauchabschnitte.

11.2 Komponentenoptimierung:

-Entwicklung neuer, optimierter Motoren für den Fräsantrieb und die Fräskopfbewegung mit Motorenherstellern, -Steifigkeitsoptimierung der Schläuche, Auswahl besserer Schlauchschellen, Schlauchschutzsystem, -Gummibalgoptimierung mit unterschiedlichen Härten, Gewebeeinlagen und Kunststoffeinlagen, -Kamera und Beleuchtung (Infrarot), - Geschwindigkeitsoptimierung der Pneumatik mit Schnellentlüftern und Ventilen, - Auswahl geeigneter Hydraulikventile zur optimalen Positionierbarkeit, - Geometrieoptimierung der Module für optimale Rohrgängigkeit.

11.3 Entwicklung und Auswahl neuer Komponenten

-Entwicklung und Prototypenbau eines Ringzylinders für beidseitigen Vorschub, -Einsatz und Programmierung einer SPS zur programmgesteuerten Vor- und Rückwärtsbewegung, -Auslegung und Aufbau einer kleinen transportablen Ölanlage, - Gestaltung einer Schnittstelle zwischen 70 m – Schlauch und 10 m Anschluss, - Entwicklung von Miniaturklemmen für die Kabelschnittstelle, -Ersatz der Drehdurchführung durch 400° Beweglichkeit.

11.4 Komponententests:

-Frästests, Motormessungen, Belastungstests der Motoren und der biegsame Welle, - Test aller optimierten und neu entwickelten Komponenten.

11.5 Überarbeitung der Konstruktion:

-Einbeziehen aller optimierten und neu entwickelten Komponenten in die bestehende Roboterkonstruktion, -Optimierung der Servicefreundlichkeit, -Erstellen neuer Fertigungszeichnungen.

11.6 Fertigung, Montage und Test des Vorserienroboters:

Ziel ist ein funktionsfähiges, getestetes Gerät für den Handbetrieb im 100 mm Kanal mit 90° - Bögen und Option für den Satelliteneinsatz.

11.7 Option Wasserhydraulik:

Bereits in der Konzeptphase zum Roboterprototyp kam die Idee auf, Hydraulikkomponenten, z.B. Zylinder zu verwenden, die statt mit Öl mit Wasser arbeiten. Dies hätte große Vorteile bei möglichen Leckagen durch Schlauchbeschädigungen. Probleme bereiten dabei insbesondere die Dichtungen, die keine entsprechende Schmierung mehr erhalten. Es wäre besonders elegant, wenn man ein System ohne elektrische Komponenten nur aus einem wasserbetriebenen hydraulischen Fräsmotor und wasserbetriebenen Hydraulikzylindern zur Fräskopfverstellung verwenden könnte. Dazu könnten in Zusammenarbeit mit Komponentenherstellern ein spezieller Hydraulikmotor und geeignete Zylinder entwickelt werden.

11.8 Adaption am Hauptroboter:

Der Satellitenroboter kann prinzipiell in zwei Bereichen eingesetzt werden:

1. Handbetrieb, z.B. bei Zugang über Revisionsschächte und Dachrinnen oder .
Satellitenbetrieb durch den Hauptkanalroboter.

Für den Satellitenbetrieb ist ein Adapter am Hauptkanalroboter notwendig, der den Roboter in die Hausanschlusskanäle einschiebt, diesen über das Schubrohr in geraden Rohrsegmenten schnell vorschieben kann und freigibt, wenn der Satellit sich selbst fortbewegt.

Außerdem ist eine Kabeltrommel am Versorgungsfahrzeug erforderlich, die den 70 Meter langen Kabelstrang synchron zur Roboterbewegung auf- bzw. abrollt.

Zur Synchronisation der Kabeltrommel und des Hauptkanalroboters mit der Vorschubbewegung des Satelliten muss eine Regelung entwickelt werden.

12. Beteiligte Firmen

1. Gesellschaft für Industrie-TV mbh
Westendstraße 19
87488 Betzigau

2. IMS GmbH
Am Bauhof 6
01458 Ottendorf-Okrilla

3. RS Technik AG
Werkstrasse 9
CH – 8627 Grüningen

4. ASTRO Motorengesellschaft mbH
Ziegeleistraße 19
27607 Langen

5. Ernst Baumgartner AG
Gewerbezone Lätti
CH – 3053 Münchenbuchsee

6. Festo AG & Co. KG
Ruiter Straße 82
73734 Esslingen – Berkheim

7. Eckart GmbH
Gewerbegebiet Wallroth
36381 Schlüchtern

8. A Drive Technology GmbH
Ziegelhüttenweg 4
65232 Taunusstein – Neuhof

9. Schlüter Automation und Sensorik gmbH

Friedrichstr. 21
79677 Schönau

10. Emoteq Corporation

10002 E. 43rd St. South
Tulsa, Oklahoma 74146
USA

11. Harmonic Drive AG

Hoenbergstrasse 14
65555 Limburg / Lahn

12. Hobby-Modellbau Bergemann

Plettenberg Elektromotoren
Rostocker Str. 30
34225 Baunatal – Großenritte

13. Sauer Danfoss GmbH

Carl-Legien-Straße 8
63073 Offenbach

14. Deprag Schulz GmbH & Co.

Kurfürstenring 12 – 18
92224 Amberg i.d. Oberpfalz

15. OTTO SUHNER GmbH

Trottäcker 50
79713 Bad Säckingen

16. Hans Bühler & Co.

Friedrich-List-Str. 3
73249 Wernau (Neckar)

13. Literaturverzeichnis

1. Zustand der Kanalisation in Deutschland
Ergebnisse der ATV-DVWK Umfrage 2001

ATV-DVWK
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef

2. Präzision in Bewegung
Katalog 2003 / 2004
Harmonic Drive AG

3. Produktkatalog (1981)
Uni-Cardan
Alte Lohmarer Straße 59
5200 Siegburg

14. Zeichnungen

1. Siehe Anlagen Zeichnungen Prototyp (63 Seiten)

15. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Alterverteilung der Kanäle im Jahr 2001
Abb. 2	CT 100 SX-C
Abb. 3	CT 100 Roto
Abb. 4	MINI-Fräse
Abb. 5	MICRO-Fräse
Abb. 6	RS-Cutter MINI
Abb. 7	Bügel

Abb. 8	Kugel, klein
Abb. 9	Kugel, groß
Abb. 10	Kardanische Aufhängung
Abb. 11	Segment-Finger
Abb. 12	Taumelscheibe
Abb. 13	Schrittmotor, elektrisch
Abb. 14	Schrittmotor, pneumatisch
Abb. 15	Pneumatikzylinder
Abb. 16	Pneumatikmuskel
Abb. 17	Hydraulikzylinder
Abb. 18	Linearmotor
Abb. 19	Elektrozylinder
Abb. 20	Parallelogramm
Abb. 21	Kipphebel
Abb. 22	Bewegungserregungs Sequenz
Abb. 23	Bauteile Harmonicdrive
Abb. 24	Elektromotor
Abb. 25	Pneumatikmotor
Abb. 26	Hydraulikmotor
Abb. 27	Aufbau einer Biegsamen Welle
Abb. 28	Doppelkardan
Abb. 29	Gleichlaufgelenk
Abb. 30	Rohrmolch Funktionsprinzip
Abb. 31	Räderantrieb
Abb. 32	Schiebstange