

## Kapitel 2

# RoboCup als Benchmark für autonome, mobile Robotik

In diesem Kapitel gehe ich kurz auf die Geschichte von RoboCup — besonders den Gründungsgedanken — ein und stelle die unterschiedlichen RoboCup-Ligen vor. Die Small-Size-Liga wird etwas genauer erläutert, da sie als Testplattform für die in dieser Arbeit vorgestellten Lernverfahren dient. RoboCup ist eine Weltmeisterschaft für fußballspielende Roboter<sup>1</sup>. Sie ist in verschiedenen Ligen organisiert, die unterschiedliche Anforderungen an die Roboter und an die Teams stellen und unterschiedliche Probleme angehen [Kitano, 1997, Noda, 1998].

RoboCup findet seit 1997 regelmäßig in verschiedenen Metropolen der Welt statt und versammelt hunderte von Teams aus der ganzen Welt. In den letzten Jahren hat sich RoboCup zu einem der bekanntesten und erfolgreichsten Ereignissen der Künstlichen Intelligenz entwickelt, das die neuesten Entwicklungen und Forschungen aus verschiedenen Bereichen zeigt. Als Erste wurde die Simulationsliga eingeführt, die sich völlig auf die Entwicklung von Verhalten und das Zusammenspiel zwischen den simulierten Agenten konzentriert. Später wurden die Small-Size-, die Mid-Size- und die 4-Legged-Liga eingeführt. Als letzte entstand die Liga der Humanoide. Mit dieser Liga nähert sich RoboCup seinem endgültigen Ziel: Im Jahr 2050 mit einem Team aus humanoiden Robotern gegen die amtierenden Fußball-Weltmeister anzutreten und zu gewinnen [Burkhard, 2002].

Dieses letzte Ziel ist aber für alle Teilnehmer eher eine Zukunftsvision, die jedes erfolgreiche Unternehmen braucht. Eine Idee und kein wirkliches Ziel. Der

---

<sup>1</sup>[www.robocup.org](http://www.robocup.org)

Stand der Forschung ist heutzutage weit davon entfernt, Roboter gegen Menschen antreten zu lassen. Die Technologien, über die wir momentan verfügen, ändern sich tagtäglich und jede Neuerung ist ein Schritt in die Zukunft. Wir haben eigentlich keine annähernde Idee wie die Roboter in 45 Jahren aussehen werden und wozu sie fähig sein werden.

## 2.1 Warum Roboter-Fußball?

In der Geschichte der Künstlichen Intelligenz wurden oft Spiele und spielerische Aufgaben als Testfelder und Benchmarks für die weitere Entwicklung definiert. Dabei wurde immer zwischen zwei Arten von Aufgaben unterschieden: Das natürliche Verhalten des Menschen nachzuahmen und komplizierte, hochgeschätzte Denkaufgaben zu bewältigen.

Zur ersten Kategorie zählen Probleme wie zweibeiniges laufen, sehen, interpretieren, greifen usw. Diese Aufgaben gehören zur Grundausstattung eines Menschen; sie werden von uns selbst keinesfalls als eine Herausforderung wahrgenommen und sind trotzdem eine schwierige Aufgabe für Computer. Die zweite Kategorie beinhaltet vor allem Aufgaben wie Schach, Go, Beweisen von mathematischen Theoremen usw. Diese zweite Kategorie galt als die große Herausforderung für die Forschung in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts. Es hat sich aber auch herausgestellt, dass manche von diesen Aufgaben, wie zum Beispiel Schach, allein durch den Fortschritt der Leistungsfähigkeit von Computern zu bewältigen sind, indem die möglichen Zugfolgen immer tiefer berechnet werden können. Dabei soll nicht die Leistung der Forscher auf diesem Gebiet unterbewertet werden, die auf dem Gebiet der Bewertung von Brettstellungen und das sinnvolle Stutzen der Suchbäume gearbeitet haben [Baxter, 1998, Block, 2004]. Doch 1997 wurde dann der Schach-Weltmeister Gary Kasparov von einem IBM-Computer namens Deep Blue geschlagen.<sup>2</sup> Damit verlor die Herausforderung Schach für viele ihren Reiz und einige Personen aus der KI-Gesellschaft haben angefangen, nach neuen Aufgaben zu suchen.

Im Jahr 1992 hat Alan Mackworth von der University of British Columbia in Kanada eine Arbeit namens „On seeing Robots“ veröffentlicht [Mackworth, 1992]. Er versuchte in dieser Arbeit herauszufinden, was genau die „gute alte traditionelle“ KI vermisste und was die Forschung auf dem Gebiet weiterbringen könnte. Er listete unter anderem die Annahmen der traditionellen KI auf:

- Sie setzt eine statische Umwelt und eine deterministische Welt voraus.
- Das Wissen des Agenten ist absolut, wohldefiniert und vollständig.
- Nur ein Agent verfolgt seine Ziele.
- Es gibt nur diskrete, nacheinander folgende Aktivitäten.

---

<sup>2</sup>[www.research.ibm.com/deepblue](http://www.research.ibm.com/deepblue)

Ein Spiel, wie zum Beispiel Schach, erfüllt alle Anforderungen der traditionellen KI. Die natürliche Umwelt der Menschen ist jedoch nicht vollständig definiert. Das Wissen über sie ist partiell und unscharf. Es gibt viele voneinander unabhängige Einflüsse, die gleichzeitig und nicht vorhersehbar auftreten können.

Der Roboter-Fußball verletzt so gut wie alle Anforderungen der klassischen KI und beschäftigt sich eher mit der wirklichen Welt. Es ist eine Domäne, die mehrere Vorteile miteinander verbindet:

- Es ist eine begrenzte Domäne. Dadurch sind die Grenzen, innerhalb derer sich die Roboter bewegen und ihre Umgebung wahrnehmen klar vorgegeben.
- Fußball ist ein Multiagentensystem. Die Agenten können autonom agieren (mit oder ohne Rücksicht auf andere Agenten) oder auch ein Gruppenverhalten zeigen, wie in [Kok, 2003] gezeigt. Die Agenten sind nicht alle gleich, sondern können auch spezialisierte Aufgaben, unterschiedliche Verhalten oder besondere Prioritäten haben. Auch die Hardware kann spezielle Ausprägungen aufweisen, wie zum Beispiel bei den FU-Fighters mit unterschiedlich gestalteten Robotern für die Aufgaben des Torwarts, Abwehrspielers und Angreifers.
- Es gibt zwei konkurrierende Teams, die um bestimmte Ressourcen streiten und unterschiedliche Ziel verfolgen. Die Teams wissen meist sehr wenig übereinander. Trotzdem soll das „eigene“ Team auch gegen unbekannte Gegner gut spielen. Es kann dadurch auch versucht werden, ein anderes Team zu analysieren [Ledezma, 2004, Visser, 2003].
- Die Domäne ist hinreichend komplex. Dadurch ist ein Algorithmus für ein perfektes Spiel nicht absehbar.
- Mehrere wissenschaftliche Fachgebiete können interdisziplinär zusammenarbeiten. Es müssen die unterschiedlichsten Aufgaben erfüllt werden, um erfolgreich spielen zu können. Dazu gehören unter anderem Computersehen, Mechanik, Regelungstechnik, Verhaltenssteuerung, Kommunikation, Echtzeitsysteme, Microcontrollersteuerung. Die einzelnen Komponenten müssen aufeinander abgestimmt werden. Meist bestimmt auch hier das schwächste Glied über Erfolg oder Niederlage.
- Ein Fußballspiel ist sehr dynamisch. Es bleibt oft nicht sehr viel Zeit, um über eine aktuelle Spielsituation nachzudenken, denn nach kurzer Zeit hat sich die Situation grundlegend geändert.
- Der Zustandsraum ist unendlich und die Zustandsübergänge sind kontinuierlich. Dadurch sind neue Methoden für eine erfolgreiche Planung und Situationsbewertung notwendig. Die Methoden, die erfolgreich in diskreten Umgebungen wie Brettspielen (Schach, Backgammon) eingesetzt wurden, sind nicht einfach adaptierbar.

- Durch das agieren in einer physikalischen Welt sind die Ergebnisse auch in wirtschaftlicher Hinsicht auf andere Gebiete übertragbar, wie zum Beispiel für Museumsroboter oder autonome Fahrzeuge. Außerdem können physikalische Systeme besser zum Verständnis der Welt beitragen.
- Dadurch, dass Fußball weltweit in allen Schichten der Bevölkerung bekannt und sehr beliebt ist, kann leichter für die ernsthafte Forschung gewonnen werden. Das Medieninteresse ist hoch. Die Ergebnisse können auch einem Laien bis zu einem gewissen Grad verständlich gemacht werden.
- Wie auch das Computerschach die Vision hatte, gegen den Schachweltmeister zu gewinnen, so hat auch Roboterfußball eine Vision.
- Es gibt eine großen Roboterfußball-Gemeinschaft, die ihre Gedanken und Erfahrungen austauscht und die sich jährlich trifft, um ihre Ergebnisse miteinander im Wettbewerb zu vergleichen.

## 2.2 Geschichte von RoboCup

Andere Forscher auf der ganzen Welt kamen zur selben Zeit wie Mackworth zu ähnlichen Ideen. Im Oktober 1992 fand das Workshop „Grand Challenges on Artificial Intelligence“ in Tokyo statt. Dort wurden einige der grossen Herausforderungen der nächsten Jahre postuliert, unter anderem das Spiel Go und Roboter-Fussball.<sup>3</sup> Im Sommer 1993 wurde dann von einer Gruppe um Hiroaki Kitano (Direktor der Sony Computer Science Laboratories) die Robot World Cup Initiative, kurz RoboCup, gegründet.

Unabhängig davon hat Itsuki Noda von der ETL (ElectroTechnical Laboratory, einem staatlichen Forschungszentrum in Japan) die erste Version des Servers der Simulationsliga entwickelt. Eine spätere Version von diesem Server wurde dann 1996 im Pre-RoboCup in Osaka (Japan) eingesetzt.

Zu ungefähr der selben Zeit wurde in Korea eine andere Weltmeisterschaft im Roboter-Fussball gegründet: MiroSot (Micro-Robot World Cup Soccer Tournament).<sup>4</sup> Das erste MiroSot wurde 1996 in Korea gehalten. Die jährlichen Wettbewerbe finden dann, wie im RoboCup, immer in einem anderen Land statt.

Der erste RoboCup fand 1997 in Japan statt. Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht über die Ereignisse seit 1997 — die Anzahl der Teams und die eingeführten Ligen.

---

<sup>3</sup>[www.csl.sony.co.jp/person/kitano/RoboCup/RoboCup-old.html](http://www.csl.sony.co.jp/person/kitano/RoboCup/RoboCup-old.html)

<sup>4</sup>[www.fira.net](http://www.fira.net)

Jahr	Ort	Teams	Simulation	Small Size	Middle Size	4 Legged	Rescue	Humanoid
1997	Nagoya, Japan	41	32	4	5			
1998	Paris, Frankreich	62	34	12	16			
1999	Stockholm, Schweden	73	35	18	20			
2000	Melbourne, Australien	84	40	16	16	12		
2001	Seattle, USA	105	44	20	18	16	7	
2002	Fukuoka, Japan	133	46	20	16	19	20	12
2003	Padova, Italien	131	35	18	23	19	22	14
2004	Lissabon, Portugal	159	32	20	24	24	40	14

Tabelle 2.1: Die RoboCup Ergebnisse seit 1997 : Veranstaltungsort und Anzahl der Teams in jeder Liga.

Außer den Ligen im Roboter-Fußball kamen später noch die RoboCup Rescue<sup>5</sup> und Robocup Junior<sup>6</sup> Ligen hinzu. Die Erweiterung hatte das Ziel, die Forschungsgebiete noch mehr zu erweitern und noch mehr Teilnehmer und Publikum für das Ereignis zu begeistern.

Eine wichtige Eigenschaft von RoboCup ist die ständige Entwicklung und Erweiterung. Die neu eingeführten Ligen sind ein Beispiel dafür, aber die Weiterentwicklung der bestehenden Ligen ist genauso wichtig. Diese ständige Veränderung der Regeln innerhalb der Ligen ist das Triebwerk der Forschung. Die Regeln werden immer an die vorausgehenden erreichten Erfolge angepasst, damit die Teams jedes Jahr schwierige und neue Herausforderungen vor sich haben, die den Motor des Fortschritts antreiben. Die Regeln jeder Liga ändert sich jedes Jahr: Das Spielfeld wird größer, neue Verhaltens- und Beleuchtungs-Regeln werden eingeführt usw. Im Jahr 2004 wurde zum Beispiel das Spielfeld der Small-Size-Liga verdoppelt und die Bande, die früher das Spielfeld umrahmte und die Roboter am Herausfahren und den Ball in einem gewissen Rahmen am herausrollen hinderte, wurde entfernt.<sup>7</sup> Damit gab es „Ball aus“ und Einwürfe von dem Spielfeldrand. In Lissabon 2004 führte diese Regeländerung dazu, dass der Ball die meiste Zeit außerhalb des Spielfelds war und das Spiel hauptsächlich aus Einwürfen bestand. In Osaka 2005 werden deshalb voraussichtlich die Regeln so modifiziert, dass wieder ein flüssigeres Spiel stattfinden kann.

Dies bedeutete eine große Herausforderung für die Entwickler, denn das ganze existierende System musste umgebaut oder angepasst werden. Mehrere Kameras und eine höhere Aufhängung der Kameras wurde benötigt, neue Verhalten

<sup>5</sup>[www.rescuesystem.org/robocuprescue](http://www.rescuesystem.org/robocuprescue)

<sup>6</sup>[satchmo.cs.columbia.edu/rcj](http://satchmo.cs.columbia.edu/rcj)

<sup>7</sup>[www.itee.uq.edu.au/~wyeth/F180Rules/index.htm](http://www.itee.uq.edu.au/~wyeth/F180Rules/index.htm)

der Roboter mussten entwickelt werden, um das Erkennen und Vermeiden der nun virtuellen Bande um das Spielfeld zu ermöglichen.

## 2.3 RoboCup Ligen

Zur Zeit existieren acht Ligen im Robocup, inklusive RoboCup Junior und RoboCup Rescue. Weitere, wie die Outdoor-Liga, sind in Planung. Die verschiedenen Ligen kamen nacheinander hinzu und ermöglichten so eine Vertiefung und Erweiterung der Forschung auf verschiedensten Gebieten der künstlichen Intelligenz.

Im folgenden werden die Besonderheiten aller Ligen deren Herausforderungen an die Entwickler beschrieben.

### 2.3.1 Simulationsliga



Abbildung 2.1: Der Monitor der Simulationsliga mit dem Spielfeld und den Spielern aus beiden Teams. Abbildung aus [Knoepfler, 2004].

Die Simulationsliga ist die älteste Liga im RoboCup. Eine erste vorläufige Version wurde 1993 von Itsuki Noda am ETL in MWP, einem Prolog-ähnlichem System, geschrieben. Es folgten Versionen in LISP und später in C++. Version 2 wurde für das Pre-RoboCup 1996 in Osaka, Japan entwickelt und war die erste Version, die zwei Module besaß: einen Server und einen Monitor (siehe Abbildung 2.1). Der Server bietet eine simulierte Umwelt für autonome Agenten, die der Realität möglichst nahe kommt. Die Information über die Umwelt ist zum Beispiel unvollständig und ungenau und die Kommunikation zwischen den Spielern ist begrenzt.

In der Simulationsliga spielen elf gegen elf Agenten, die mit Hilfe des SoccerServers kommunizieren. Die Teams sind in dieser Liga völlig von der Entwicklung der Hardware befreit und können sich auf die Entwicklung des Zusammenspiels

und die Koordination der Agenten konzentrieren.

Weitere Informationen und Dokumentationen können in [Knoepfler, 2004, Chen, 2002] und auf den Seiten des Soccerservers<sup>8</sup> gefunden werden.

### 2.3.2 Small-Size-Liga

Die Small-Size-Liga, oder auch Formula 180 (F-180) genannt, ist eine der ältesten Liegen im RoboCup. Teams von mehreren realen Robotern (zur Zeit fünf pro Team) spielen gegeneinander auf einem relativ kleinen Feld mit einem orangefarbenen Golfball. Der Name der Liga (F-180) kommt von dem maximal zugelassenen Durchmesser der Roboter von 180mm.

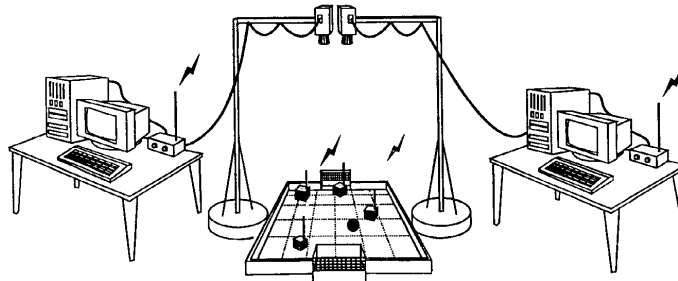


Abbildung 2.2: Der allgemeine Aufbau der Small-Size-Liga. Die Roboter spielen auf einem kleinen Spielfeld mit einem Golfball. Die Hauptsensoren sind die Kameras über dem Spielfeld. Gesteuert werden die Roboter eines Team von einem zentralisierten Server neben dem Spielfeld.

Abbildung 2.2 zeigt den allgemeinen Aufbau der Small-Size-Liga. Die Roboter der beiden Teams spielen auf einem zur Zeit  $4\text{m} \times 5\text{m}$  großen Spielfeld. Das Spielfeld selbst hat zur Begrenzung am Rand eine weiße Linie, die Seitenauslinien bzw. Torauslinien. Eine zusätzliche Bande verhindert, dass der Ball oder die Roboter das Spielfeld zu weit verlassen und unter Umständen Zuschauer verletzen. Kameras werden über dem Spielfeld angehängt und sind die einzigen Sensoren in der Liga, die den Zentralrechnern der Teams zur Verfügung steht. Andere Sensoren, wie die Tickzähler der Motoren oder Sensoren für den Batteriezustand, sind auf dem Roboter vorhanden und werden von diesem auch genutzt. Die Funkverbindung zwischen dem Zentralrechner und den Robotern ist aber bei den meisten Teams einseitig. Ausnahmen bilden zum Beispiel seit 2004 das BigRed Team der Cornell University<sup>9</sup> mit einer Bluetooth Kommunikation und das RoboCats Team der University of Ohio<sup>10</sup> mit einer WiFi Kommuni-

<sup>8</sup>[server.sourceforge.net](http://server.sourceforge.net)

<sup>9</sup>[robocup.mae.cornell.edu](http://robocup.mae.cornell.edu)

<sup>10</sup>[zen.ece.ohiou.edu/~robocup](http://zen.ece.ohiou.edu/~robocup)

kation. Die Bilder der Kameras werden zu einem Zentralrechner übertragen, der alle Berechnungen und Auswertungen vornimmt und anschließend die motorischen Befehle an die Roboter per Funk schickt.



Abbildung 2.3: Die Farbcodierungen einiger Teams aus der Small-Size-Liga. In der Mitte ist der so genannte Teammarker — blau oder gelb. Alle anderen Farben sind frei wählbar, dürfen allerdings nicht zu sehr den vorgegebenen Farben — orange für den Ball, gelb und blau für die Teamfarbe — gleichen. Die Farben sind immer ein Anlass für lebhafte Diskussionen vor einem Spiel, denn jedes Vision System sieht, abhängig von den verwendeten Algorithmen, der Beleuchtung und der verwendeten Kameras, die Farben unterschiedlich.

Jeder Roboter verfügt über eine eigene Farbkodierung auf der Oberseite (siehe Abbildung 2.3). Der Farbmarker in der Mitte definiert die Teamzugehörigkeit durch einen blauen bzw. gelben Punkt. Die restlichen Farben werden von den Teams selbst so ausgewählt und angeordnet, dass eine eindeutige Erkennung jedes Roboters und seiner Orientierung möglich ist.

In den frühen Tagen der Liga war gerade die Bildauswertung ein großes Problem für die Teams. Mittlerweile ist aber eine größere Stabilität der Bildverarbeitung bei einigen Teams zu beobachten. So gilt die Bildverarbeitung der FU-Fighters als beispielhaft, dass sie demnächst auch veröffentlicht werden soll und von anderen Teams benutzt werden kann. Heutzutage ist die größten Herausforderungen das Zusammenspiel der Roboter, Passen und die Ballhandhabung. Dafür ist aber ein präzises fahren und anhalten sowie schnelle und genaue Reaktion auf die Umwelt sehr wichtig. Passen und geplantes zusammenspielen der einzelnen Roboter wurden zu den Hauptaufgaben der Entwickler.

Ein Schiedsrichtercomputer ist seit der Weltmeisterschaft 2003 mit den zentralen Steuerungscomputern der Teams über eine serielle RS-232 Schnittstelle verbunden. Der Schiedsrichtercomputer wird von einem Schiedsrichterassistenten



bedient. Er gibt über eine grafische Benutzerschnittstelle die Spielsituation ein, die der Schiedsrichter festlegt: „Ball aus“, „Tor für das gelbe Team“, „Spielunterbrechung“, „Elfmeter für das blaue Team“, usw. Der Status wird dann parallel über eine serielle Schnittstelle zu den Teamrechnern übertragen. Die Programme zur Koordination der Roboter müssen dann auf diese Situation entsprechend reagieren. Dadurch ist es möglich, dass das ganze System autonom, ohne Eingriffe von (parteiischen) Personen, funktioniert. Das Programm für die Interaktion mit dem Schiedsrichterassistenten und der Kommunikation mit den Teamrechnern, die Referee-Box<sup>11</sup>, wird von Mitgliedern verschiedener Teams erweitert<sup>12</sup>, angepasst und den Regeländerungen entsprechend weiter entwickelt.

Eine ausführlichere Beschreibung der Funktionsweise der Small-Size-Liga und insbesondere des FU-Fighters-Small-Size-Systems ist in Kapitel 4 und in den Teambeschreibungen der FU-Fighters zu finden [Behnke, 2000, Rojas, 2001, Rojas, 2002, Egorova, 2003, Egorova, 2004, Gloye, 2003]. Weitere Informationen können außerdem auf der Seite der Small Size Liga gefunden werden.<sup>13</sup>

### 2.3.3 Middle Size Liga



Abbildung 2.4: Das Spielfeld der Mid-Size bei den German Open 2004 in Paderborn. Für die Länge und Breite werden maximale und minimale Werte gegeben, eine vordefinierte Größe hat das Spielfeld nicht. Bande um das Spielfeld gibt es erst an den Grenzen der grünen Fläche, die größer ist, als das Spielfeld selbst. An jeder Ecke gibt es farbige Orientierungssäulen für die Roboter. Die FU-Fighters — hinten im Bild — haben Anstoß!

In der Mid-Size-Liga spielen Roboter mit einer Grundfläche von maximal  $50\text{cm} \times$

<sup>11</sup>Die Homepage der Referee-Box ist unter [www-2.cs.cmu.edu/~brettb/robocup/referee.html](http://www-2.cs.cmu.edu/~brettb/robocup/referee.html) zu finden, der Quelltext unter [sourceforge.net/projects/referee-box](http://sourceforge.net/projects/referee-box)

<sup>12</sup>Zur Zeit Brett Browning (CMDragons), Joerg Kurlbaum (B-Smart), Alexander Gloye (FU-Fighters)

<sup>13</sup>[www-2.cs.cmu.edu/brettb/robocup](http://www-2.cs.cmu.edu/brettb/robocup)

50cm. Die Roboter völlig autonom, sie tragen alle Sensoren und Rechenleistung mit sich. Sie können jedoch mit anderen Robotern und einem Teamrechner drahtlos kommunizieren. Die Größe des Spielfeldes ist nicht strikt vorgegeben, sondern orientiert sich an die FIFA Regeln und stellt minimale und maximale Grenzen: Die Länge beträgt mindestens 8m und maximal 16m, die Breite liegt zwischen 6m und 12m. Dabei muss die Länge stets größer als die Breite sein. In Abbildung 2.4 ein Bild mit dem Spielfeld der Mid-Size: Es ist ein Eckpfosten mit gelb-blau-gelber Markierung, das gelbe Tor, die weißen Feldlinien und die 10cm hohe Band zu sehen.

Durch die Autonomie der Roboter und die dadurch bedingte Verwendung einer lokale Kamera ergeben sich die Hauptforschungsbereichen in der Liga: Die Bildverarbeitung, der Austausch von Informationen untereinander und die Koordination der Roboter. Der Bildverarbeitung beinhaltet die Erkennung von Hindernissen (andere Roboter, Menschen, Gegenstände) auf dem Spielfeld und die präzise Position und Orientierung des Roboters auf dem Spielfeld [Hundelshausen, 2004]. Abbildung 2.5 zeigt den Aufbau eines FU-Fighters-Roboters und ein Kamerabild. Eine Fusion der Sensordaten aller eigenen Roboter erhöht die Genauigkeit der Informationen, ergänzt fehlende Daten (Ballposition bei einem durch die lokale Kamera nicht sichtbaren Ball) und hilft bei der Unterscheidung der Roboter nach der Teamzugehörigkeit, da die Farbmarkierungen der Roboter sehr klein sind [Petrov, 2004, Lindstrot, 2004].



Abbildung 2.5: Ein dreirädriger, omnidirektionaler Mid-Size-Roboter der FU-Fighters von 2003. Eine preiswerte FireWire Kamera ist nach oben zu einem konvexen Spiegel ausgerichtet, durch den das ganze Spielfeld zu sehen ist. Ein Sub-Notebook wertet die von der Kamera gelieferten Bilder aus, gleicht sie Daten mit den anderen Robotern ab und steuert den Roboter. Rechts ist ein Bild zu sehen, wie es die lokale Kamera liefert. Der Spiegel oberhalb der Kamera ermöglicht eine 360° Sicht; das Bild wird dadurch allerdings stark verzerrt.

Mehr Informationen über die Regeln der Mid-Size-Liga können auf der Seite der Liga<sup>14</sup> gefunden werden.

<sup>14</sup>[www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp/rc2004msl/index.cgi](http://www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp/rc2004msl/index.cgi)

### 2.3.4 4-Legged-Liga

Die ersten Versuche, eine Liga für die AIBOs<sup>15</sup> der Firma Sony zu gründen, begannen schon während des RoboCup 1998 in Paris. Dort wurden die Hunde zum ersten Mal präsentiert und haben im Rahmen von Vorführungen die ersten Spiele gespielt. In Abbildung 2.6 ist das Modell ERS-210 zu sehen. Als richtige Liga wurde die Legged Liga aber erst 2000 in Melbourne eingeführt.



Abbildung 2.6: Sonys Roboter AIBO mit seinen wichtigsten Sensoren und Aktuatoren. Bild von der Sony Webseite.

Abbildung 2.7 zeigt das Spielfeld mit farbkodierten Orientierungssäulen nach den Regeln<sup>16</sup> der AIBO-Liga. Es hat eine Größe von 4,2m × 2,7m. Die Teams bestehen aus jeweils vier Robotern, die mit farbigem Filz beklebt werden, damit die Teams unterschieden werden können.

Die einheitliche Hardware-Plattform hat den Vorteil, dass Teams Kernkompetenzen entwickeln und als gemeinsames Team aus mehreren Forschungseinrichtungen auftreten können. Ein Beispiel dafür ist das German Team — eine Zusammenstellung von vier deutschen Universitäten, die beim letzten RoboCup 2004 in Lissabon Weltmeister wurden und sehr gute Erfolge in allen Forschungsrichtungen erzielte<sup>17</sup>. Eine Zusammenarbeit auf diesem Niveau findet in anderen Ligen leider nicht statt.

### 2.3.5 Liga der Humanoiden

Die Humanoiden bilden eine junge Liga im RoboCup. In ihr geht es bisher nicht so viel um Fußball, sondern um allgemeine Aufgaben für humanoide Roboter. Sie wurde zum ersten Mal 2002 in Fukuoka eingeführt und umfasst einige

<sup>15</sup>[www.aibo-europe.com](http://www.aibo-europe.com)

<sup>16</sup>[www.tzi.de/4legged/pub/Website/History/Rules2004.pdf](http://www.tzi.de/4legged/pub/Website/History/Rules2004.pdf)

<sup>17</sup>[www.robocup.de/germanteam](http://www.robocup.de/germanteam)

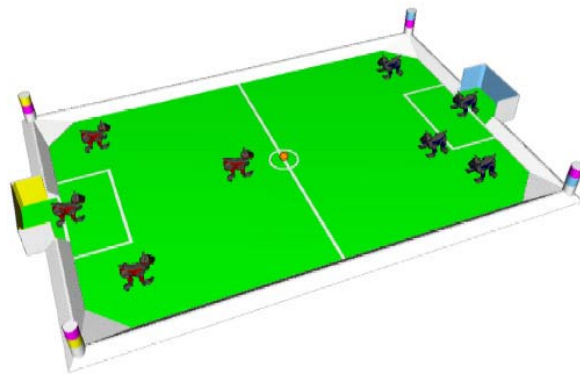


Abbildung 2.7: Das Spielfeld mit Aibo-Robotern. Abbildung aus den Regeln der Sony Legged Liga.

Aufgaben und Wettbewerbe. Zu gehören zum Beispiel laufen, Hindernisse umgehen, über eine Rampe balancieren, zu einer Markierung passen und Elfmeter schießen.

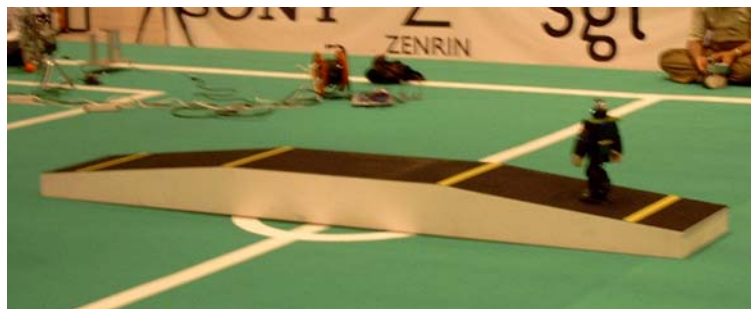


Abbildung 2.8: Ein Roboter der H40 Klasse. Der kommerzielle Roboter VisiON des OSAKA Teams auf der Gehrampe in Lissabon 2004. Bild mit freundlicher Genehmigung des NimbRo Teams.

Die Humanoide werden in verschiedene Klassen aufgeteilt, je nach ihrer Größe: H40, H80 und H120. Die Roboter dürfen maximal die Größe der Klassennummer in Zentimetern haben. Eine Ausnahme ist die Klasse H120, in der auch Roboter bis zu einer Höhe von 180cm zugelassen sind. Abbildung 2.8 einen Roboter der Klasse H40 bei der Aufgabe über eine Rampe zu gehen.

Auch wenn die Humanoide bisher noch nicht Fußball spielen, das Ziel von RoboCup ist es, mit Humanoiden gegen Menschen zu gewinnen. Wenn die Humanoide erst den Ball beherrschen und sich gut bewegen können, wäre eine Zusammenlegung der Ligen möglich.

In der Liga der Humanoiden sind auch die meisten Vertreter der — bisher fast ausschließlich japanischen — Wirtschaft zu finden: Von Sonys QRIO<sup>18</sup> über VisiON<sup>19</sup> bis zu Hondas ASIMO<sup>20</sup>. Es wird also von einem hohen Wirtschaftlichkeitsfaktor ausgegangen. Nur Humanoide können sich frei in der realen Welt des Menschen bewegen, in der es Treppen usw. gibt.

### 2.3.6 Nicht fußballspezifische Ligen

Neben den sogenannten Fußball-Ligen gibt es noch andere Klassen, die hier kurz zusammengefasst werden.

Die Rescue Liga, oder die Rettungsliga, wurde mit einem ganz bestimmten Ziel gegründet: Die Forschung im Bereich der Katastrophenrettung zu fördern. Sie ist vielleicht auch die praxisnächste Liga im RoboCup. Es ist auch die einzige Liga, die Operatoren erlaubt. Die Roboter sind nicht autonom, sondern werden von einem oder mehreren Operatoren gesteuert.



Abbildung 2.9: Die simulierten Katastrophengebiete in der Rescue-Liga. Sie werden nach Schwierigkeitsgraden unterschieden: Gelb, orange und rot, wobei rot am schwierigsten ist. Die Schauplätze werden nach vordefinierten Regeln aufgebaut. Abbildung aus der Webseite der Rescue-Liga.

Die Aufgabe der Teams ist es, Menschen in Katastrophengebieten zu finden. Dies wird durch spezielle Schauplätze simuliert, wie in Abbildung 2.9 gezeigt wird. Sie werden nach Schwierigkeitsgraden unterschieden: Gelb, orange und rot. Die gesuchten Menschen sind Puppen, die je nach dem simulierten Zustand (bewusstlos, nicht bewusstlos oder tot) verschiedene Signale aussenden. Dies könnten Bewegungen, Geräusche, Körperwärme oder auch Kohlendioxid sein.

Die Teammitglieder dürfen nicht in das simulierte Katastrophengebiet. Sie müssen ihre Roboter fernsteuern, anhand von Sensoren im Roboter und einfachen Karten der Gebiete. Es werden Punkte für jede gefundene Puppe vergeben

<sup>18</sup>[www.sony.net/SonyInfo/QRIO](http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO)

<sup>19</sup>[www.sansokan.jp/robot/info/index.php](http://www.sansokan.jp/robot/info/index.php)

<sup>20</sup>[world.honda.com/ASIMO](http://world.honda.com/ASIMO)

und Punkte abgezogen, falls der Roboter eine Puppe anrenpelt oder falls das Team mehrere Operatoren eingesetzt hat.

Mehr Informationen zu den Teams und den Regeln können auf der Webseite der Liga gefunden werden.<sup>21</sup>

Die Rescue Simulationsliga<sup>22</sup> ist ein Projekt der Rescue-Liga, das das Ziel hat schwierige und komplexe Situationen in Katasrophengebieten zu evaluieren und Rettungsaktionen zu koordinieren. Abbildung 2.10 zeigt den Simulator der Liga. Verschiedene autonome Agenten, wie zum Beispiel Feuerwehrleute, Polizei, Opfer und Freiwillige agieren in einer simulierten Welt. Im ersten Projektabschnitt und dem Wettbewerb geht es um die automatische Koordinierung der Rettungskräfte in einer Simulationsumgebung.

Das Projekt umfasst aber nicht nur die Simulation, sondern es sollen auch Applikationen und Richtlinien entwickelt werden, die Rettungsorganisationen und Regierungen in Katastrophensituationen helfen sollen, den Schaden zu minimieren. Dazu gehört zum Beispiel die Entwicklung eines PDA-basierten Programms, das ein Katastrophenmanager den Überblick über das Katastrophengebiet und Entscheidungshilfen geben soll. Dabei sollen die Informationen so gefiltert werden, dass ein möglichst großer Informationsgehalt entsteht.

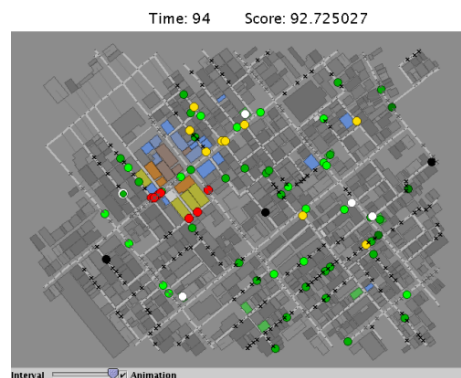


Abbildung 2.10: Der Simulator der Rescue-Simulationsliga 2004. Verschiedene autonome Agenten, wie z.B. Opfer, Freiwillige, Polizisten und Feuerwehrleute, agieren in dieser Welt, letztere geleitet von einem menschlichen Operator.

Die RoboCup Junior-Liga<sup>23</sup> ist für die jüngsten Forscher und den Nachwuchs im Bereich der Robotik gedacht: Schüler jedes Alters und junge Studenten, denen die Mittel fehlen, in andere Ligen einzusteigen. Die Liga konzentriert sich dabei nicht so viel auf Forschung, sondern auf Bildung. Sie setzt sich

<sup>21</sup>[robotarenas.nist.gov/competitions.htm](http://robotarenas.nist.gov/competitions.htm)

<sup>22</sup>[www.rescuesystem.org/robocuprescue](http://www.rescuesystem.org/robocuprescue)

<sup>23</sup>[satchmo.cs.columbia.edu/rcj](http://satchmo.cs.columbia.edu/rcj)

aus den drei Wettbewerben fußballspielende Roboter, Junior-Rescue-Liga und Tanzwettbewerb zusammen (siehe Abbildung 2.11).



Abbildung 2.11: Junior Fußball (links), Rettung (mittig) und Tanz (rechts). Die Bilder sind dem RoboCup Junior 2003 Video von der Webseite der Junior-Liga entnommen.

Im nächsten Kapitel stelle ich Lernmethoden vor, wie sie unterschiedlichen RoboCup-Ligen und in der Robotik insgesamt eingesetzt werden. Dabei wird der Fokus besonders auf das Lernen und optimieren von Verhalten gesetzt, denn dies ist die Domäne der vorliegenden Arbeit.

