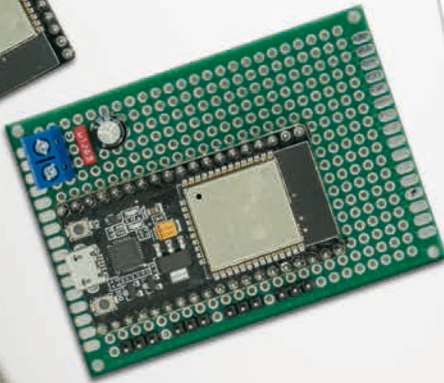
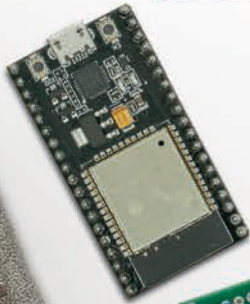


Gustav Wostrack

# DIGITALE MODELLBAHN SELBSTGEBAUT

CANguru-Steuerung  
mit ESP32 in Arduino-Umgebung



dpunkt.verlag

**Gustav Wostrack** studierte im Rahmen seiner Tätigkeit als Zeitsoldat Elektrotechnik (Schwerpunkt Nachrichtentechnik), danach folgte sein Studium der Informatik mit Schwerpunkt Linguistik mit anschließender Tätigkeit als Projektleiter für große IT-Projekte bei der Bundeswehr. Seit 2016 ist er pensioniert. Nebenberuflich befasst er sich intensiv mit Mikroprozessoren und deren Anwendung, insbesondere bei seinem zweiten Interessengebiet, der Modelleisenbahn.



Zu diesem Buch – sowie zu vielen weiteren dpunkt.büchern – können Sie auch das entsprechende E-Book im PDF-Format herunterladen. Werden Sie dazu einfach Mitglied bei dpunkt.plus<sup>+</sup>:

[www.dpunkt.plus](http://www.dpunkt.plus)

**Gustav Wostrack**

# **Digitale Modellbahn selbstgebaut**

**CANguru-Steuerung  
mit ESP32 in Arduino-Umgebung**



**dpunkt.verlag**

Gustav Wostrack

Lektorat: Gabriel Neumann

Lektoratsassistentz: Anja Weimer

Copy-Editing: Petra Kienle, Fürstenfeldbruck

Satz: G&U Language & Publishing Services GmbH, Flensburg, [www.GundU.com](http://www.GundU.com)

Herstellung: Stefanie Weidner

Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, [www.exclam.de](http://www.exclam.de) (unter Verwendung eines Fotos des Autors)

Druck und Bindung: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN:

Print 978-3-86490-711-1

PDF 978-3-96088-905-2

ePub 978-3-96088-906-9

mobi 978-3-96088-907-6

1. Auflage 2020

Copyright © 2020 dpunkt.verlag GmbH

Wieblinger Weg 17

69123 Heidelberg

*Hinweis:*

Der Umwelt zuliebe verzichten wir auf die Einschweißfolie.

*Schreiben Sie uns:*

Falls Sie Anregungen, Wünsche und Kommentare haben, lassen Sie es uns wissen: [hallo@dpunkt.de](mailto:hallo@dpunkt.de).

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

---

# Inhalt

<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Das Buch für den motivierten Modelleisenbahner</b> .....	<b>3</b>
Wie ist das Buch aufgebaut? .....	3
Ziele der Entwicklung .....	4
Big Picture .....	6
Die Modellbahnanlage .....	9
Die funktionale Leistungsbeschreibung .....	10
<b>2 Jetzt bauen wir endlich</b> .....	<b>13</b>
Der ESP32 .....	13
ESP32-Module .....	15
ESP-WROOM-32 .....	15
Der Olimex ESP32-EVB .....	16
M5Stack ESP32-CAM .....	18
Das Laden der Programme .....	19
Tag 1: ... und es werde grün .....	24
Was ist das Ziel? .....	24
Was wird benötigt? .....	24
Der Aufbau der Grundplatte .....	24
Installation von Win-DigiPet .....	27
Tag 2: Jetzt kommt Bewegung ins Spiel .....	27
Was ist das Ziel? .....	27
Was wird benötigt? .....	27
Der Gleisaufbau .....	28
Die CANguru-Bridge .....	30
Inbetriebnahme der Anlage .....	31
Zusammenfassung .....	33

---

Tag 3: Wo sind meine Züge? .....	33
Was ist das Ziel? .....	33
Was wird benötigt? .....	33
Aufbau der Hardware .....	35
Das Basismodul .....	35
Der Gleisbesetzmelder .....	38
Die Melder .....	40
Win-DigiPet .....	45
Aufbau der Gleisanlage .....	46
Zusammenfassung .....	48
Tag 4: Jetzt kann man schalten und walten .....	48
Ziel des 4. Tages .....	50
Was wird heute benötigt? .....	50
Um- und Einbau der Weiche .....	51
Steuern mit Mini-Servo .....	51
Einbau der Weiche .....	55
Umbau mit Linear-Servo .....	56
Der Decoder .....	58
Die Landschaft wird modelliert .....	60
Zusammenfassung .....	67
Tag 5: Signale regeln den Betrieb .....	67
Was wollen wir am Tag 5 erreichen? .....	67
Was wird für die Signale und die Landschaft benötigt? .....	67
Die Formsignale .....	68
Was brauchen wir für die Formsignale? .....	68
Umbau der Signale .....	69
Die LED-Signale .....	71
Der ESP32 auf dem Breadboard .....	72
Die Welt ist bunt und unsere Anlage auch .....	74
Zusammenfassung .....	78
Tag 6: ... und es wurde Licht .....	78
Ziel dieses Tages .....	78
Was wird für den Lichtdecoder benötigt? .....	78
Der Lichtdecoder .....	78
Anschluss der LEDs am Beispiel eines Wohnhauses .....	81
Zusammenfassung .....	82

---

Tag 7: Eine ganz neue Sichtweise .....	82
Materialliste .....	82
Installation und Inbetriebnahme des Kamerawagens .....	83
Zusammenfassung .....	86
<b>3 So funktionieren die CANgurus .....</b>	<b>89</b>
Die Software-Entwicklungsumgebung .....	90
Installation der IDE .....	91
Unser erstes Programm .....	95
Programmieren in einer Arduino-Umgebung .....	97
setup() .....	98
Konzept EEPROM .....	99
Konzept TIMER/Ticker .....	101
loop() .....	105
Vom Programm zum Board .....	105
Der CAN-Bus .....	110
Der Blick aufs Ganze .....	113
Der Basisdecoder .....	117
ESP-NOW als Alternative zum WLAN .....	117
Der Decoder startet eine Wifi-Session im AP-Mode mit der eigenen MAC-Adresse und dem Präfix »CNgrSLV« .....	118
Der Decoder initialisiert sein ESP-NOW-System .....	118
Den Master hinzufügen .....	119
Nach Erhalt einer Quittung sind die Decoder empfangsbereit .....	119
PING .....	122
SWITCH_ACC .....	122
BlinkAlive .....	122
Die Decoder senden ihre PING-Antwort .....	123
Die Decoder senden Konfigurationsdaten .....	123
CONFIG_STATUS .....	123
SYS_CMD/SYS_STAT .....	125
Zusammenfassung .....	127
Der Weichendecoder .....	128
Festlegen der Weichenadressen .....	128
Die Empfangsroutine .....	129
Das Stellen der Servos .....	130
Die Ausladung .....	132
Zusammenfassung .....	132

Der Formsignaldecoder .....	132
Der LED-Signaldecoder .....	134
Der Lichtdecoder .....	135
Der Gleisbesetzmelder .....	137
Die CANguru-Bridge .....	141
Die CANguru-Bridge registriert Wifi-Sender mit dem Präfix »CNgrSLV« als eigene Clients .....	142
Eine Quittung an die Clients geben .....	142
Vom CANguru-Server den Frame 0x88 empfangen und mit 0x89 antworten .....	142
Die Kommunikation der CANguru-Bridge .....	143
Die CANguru-Bridge meldet sich über Telnet im Ausgabefenster des CANguru-Servers .....	146
Die CANguru-Bridge empfängt die Datei »lokomotive.cs2« vom CANguru-Server .....	148
Die CANguru-Bridge startet die Gleisbox .....	148
Die CANguru-Bridge sendet einen PING an die Decoder .....	148
Der CANguru-Server verfolgt die Übertragung der Konfigurationsdaten .....	149
Wenn alle Decoder sich gemeldet haben, kommt die Meldung »Start WDP« .....	149
Zusammenfassung .....	149
Der CANguru-Server .....	149
Der CANguru-Server sendet einen CAN-Frame mit Cmd 0x88 .....	150
Der CANguru-Server trägt die IP-Adresse der CANguru-Bridge in das Feld oben links ein .....	150
Der CANguru-Server empfängt die PING-Antworten der Decoder ...	150
Der CANguru-Server baut eine Liste der Decoder auf .....	150
Der CANguru-Server ruft nacheinander alle Decoder aus der Liste auf und fordert ihre Konfigurationsdaten an .....	151
Die Konfigurationsdaten ändern .....	151
mfx-Lokomotiven erkennen .....	151
<b>4 Wenn die Bahn fertig aufgebaut ist .....</b>	<b>153</b>
PC-Komponenten .....	153
Steuersoftware .....	153
Der CANguru-Server .....	156
Start der CANguru-Bridge .....	157
Start von Win-DigiPet .....	159



---

Konfiguration der Decoder .....	160
Verwaltung des Lokbestands .....	160
Modellbahnkomponenten .....	164
Die CANGuru-Bridge .....	164
Gleisbox .....	164
Der Weichendecoder .....	165
Der Signaldecoder .....	171
Die Formsignale .....	172
Die LED-Signale .....	174
Der Gleisbesetzmelder .....	174
Der Lichtdecoder .....	177
Der Kamerawagen .....	180
Inbetriebnahme der Anlage .....	181
Der Weg zum Automatikbetrieb .....	181
Fahrstraßen .....	181
Zugfahrten .....	183
Die Automatik .....	185
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>189</b>



# E

# Einführung

Warum denn, bitteschön, »CANgurus«?

Kängurus sind bekannt. Sie leben vornehmlich in Australien und werden – dort, wo sie ihren Lebensraum haben – häufig als Plage empfunden. Das mag subjektiv auch so sein, wenn sie mehr schaden als nutzen.

Ganz anders ist es mit den CANgurus.

Hinter diesen CANgurus verbergen sich elektronische Module für Modelleisenbahnen, also Decoder, wie Weichendecoder oder Gleisbesetzmelder, die über den CAN-Bus gesteuert werden bzw. dessen Format benutzen.

CANgurus leiten ihren Namen von der Nutzung des CAN-Busses ab.

Diese Module sind so einfach aufgebaut, dass es jedem, der bereits einmal einen Lötkolben in der Hand hatte, nicht schwerfallen dürfte, sie nachzubauen. Diese einfachen Module entpuppen sich schnell als die kleinen Helferlein auf der Modelleisenbahn. Sie sind nur von den Ausmaßen her klein. Ihre Funktionalität ist genau das Gegenteil. Vor allem ist ihr Innenleben vollkommen offengelegt.

Bei einem Hobby ist häufig auch der Weg gleichbedeutend mit dem Ziel. Insofern wird hier die Klientel angesprochen, die primär Freude am elektronischen Basteln hat, am Ende aber auch nicht traurig ist, wenn das fertige Werk funktioniert und noch weitere Freude bereitet. Wenn also ein wenig elektronisches und computertechnisches Verständnis vorhanden ist, ist dieses Buch das richtige für Sie. Es ist nicht nur eine Beschreibung, die man bestaunen kann, sondern auch eine, die wahrscheinlich Lust aufs Nachbauen macht und diese dann auch befriedigen kann.

In diesem Buch erfahren Sie alles, was notwendig ist, um diese kleinen Komponenten aufzubauen und nutzbringend auf Ihrer Modellbahn einzusetzen. Mit dem Wissen haben Sie zudem das Rüstzeug, eigene Funktionen zu entwickeln und sie auf Ihre eigenen Bedürfnisse anzupassen.

Das Buch ist auch für denjenigen interessant, der noch keine Modellbahn besitzt. Ziel dieses Buchs ist es nämlich außerdem, den Leser beim Aufbau einer digitalen Modelleisenbahn zu führen. Dabei liegt allerdings der klare Schwerpunkt auf dem digitalen Anteil, also allem, was zur Steuerung des rollenden Materials notwendig ist. Natürlich müssen Lokomotiven wunschgemäß fahren, aber ebenso werden Weichen oder Signale geschaltet. Damit das Ganze noch etwas mehr Freude bereitet, gibt es weitere Spaßmacher, beispielsweise der Kamerawagen, der uns ganz neue Einblicke in die Anlage verschafft. Der Aufbau der Anlage und deren »Begrünung« laufen parallel zu dem der Elektronikwelt ab. Dabei muss der Aufbau der Modellbahn warten, wenn Digitalkomponenten gebaut werden, die zum Weiterbau notwendig sind. Dieses Buch erklärt Details für den Aufbau nur so weit, wie das zum Gesamtverständnis notwendig ist.

Im Laufe der einzelnen Kapitel wird der Leser nahezu alle Komponenten, die zur Steuerung einer Bahn notwendig sind, kennenlernen und aufbauen. Das bedeutet: Die Hardware wird gelötet und die Software wird aufgespielt. Wer für das Erstellen der Programme keine Zeit oder keine Lust hat, kann die vorhandenen Programme so nehmen, wie sie angeboten werden. Dieser Weg schränkt natürlich die Möglichkeit ein, die Komponenten eigenen Vorstellungen anzupassen oder zu neuen Funktionalitäten weiterzuentwickeln. Auch das Löten ist nicht zwingend erforderlich, denn einige Komponenten können mit wenig Aufwand ohne LötKolben auf kleinen Breadboards in wenigen Minuten aufgebaut werden. Doch davon später mehr.

Zwei Komponenten werden fertig gekauft: die Märklin-Gleisbox und ein Steuerungsprogramm für den Windows-PC. Ich habe mich bereits vor langer Zeit für Win-DigiPet entschieden, wovon die zwar kostengünstige, aber dennoch komfortable »small-Version« ausreichend für unsere Zwecke ist.

Alle Quellen sowie einige weitere Dokumente können bei <https://github.com/CANguru-System> heruntergeladen werden.

## 1

# Das Buch für den motivierten Modelleisenbahner

## Wie ist das Buch aufgebaut?

Das Ziel dieses Buchs ist eine funktionierende digitale Modellbahn. Nicht als Blackbox, von der man nicht so genau weiß, warum sie eigentlich funktioniert. Folgen Sie den Anleitungen dieses Buchs, kennen Sie am Ende – wenn Ihnen das wichtig ist – jedes Detail. Dabei sind die Wege dorthin vielfältig. Dies drückt sich bereits in der Kapitelstruktur aus. Ein Kapitel – nämlich dieses – sollte von allen gelesen werden. Andere sind nur für diejenigen interessant, die sich bei der Beschreibung des Adressatenkreises in der Kapitelüberschrift angesprochen fühlen. So ist das zweite Kapitel dem Bastler gewidmet und beschreibt recht ausführlich, wie die Decoder und parallel dazu die Anlage aufgebaut werden. Man könnte auch sagen, dieses Kapitel ist der Schwerpunkt des Buchs. Das darauffolgende Kapitel erklärt, wie das alles funktioniert. Dafür werden nur wenige Grundlagen benötigt. Dieser Teil ist für denjenigen, der auch mal selbst ein Stück Software erstellen will, von herausragender Bedeutung. Wer einfach nur basteln will, muss es nicht zwingend lesen. Denn man kann das Ziel erreichen, auch ohne das letzte Detail der angewandten Technik auch wirklich durchdrungen zu haben. Dann folgt der Teil, der für den Nutzer – meinetwegen auch den Spieler – wichtig ist. Hier steht nämlich, wie die Anlage zu bedienen ist. Schließlich will man nach dem vielen Schweiß, den das Aufbauen gekostet hat, durch intensives Spielen mit der Anlage auch etwas Freude genießen.

Doch genug der Vorrede. Los geht's.

## Ziele der Entwicklung

Bevor ich mit der eigentlichen Entwicklung der Decoder begonnen habe, gab es bereits eine längere Phase, in der ich Überlegungen anstellte, was meine Decoder leisten können sollten und welche Randbedingungen dabei Berücksichtigung finden sollten. Das führte zu den folgenden Entwurfskriterien.

### ■ Do It Yourself

Die Digitalanteile einer Modellbahn kann man komplett aufgebaut und getestet in den einschlägigen Geschäften kaufen. Da geht man kein Risiko ein.

Aber ist es das, was wir wollen?

Wollen wir wirklich nur alles zusammenstecken und dann zuschauen, wie die Bahn ihre Runden dreht?

Ich denke, die Antwort lautet: Nein.

Die richtige Freude kommt doch erst auf, wenn man den Dingen selbst das Leben eingehaucht hat. Früher gab es Menschen, die an den Vergasern ihrer Autos geschraubt haben, obwohl die Motoren schon ganz gut liefen. Es hat ihnen einfach Freude bereitet. Und solche Menschen sind auch die *Maker* von heute. Sie haben einfach Freude am Werkeln, Ausprobieren und Entwickeln und wollen sehen, wie sich die eigenen Gedanken in Taten umsetzen lassen. Wenn Sie etwas davon im Blut haben, dann sind Sie hier richtig.

### ■ Einfach

Eine Modellbahn fliegt nicht zum Mond und die Menschen, die sie aufbauen, sind auch keine Raketenwissenschaftler. Natürlich wird hier ein gewisses, wenn auch begrenztes technisches Verständnis vorausgesetzt. Deshalb müssen die eingesetzten Komponenten einerseits eine hohe Funktionalität aufweisen, andererseits dürfen sie dafür aber nur wenige Bauelemente mit überschaubaren Abläufen benötigen. Hinzu kommt, dass durch den massiven Einsatz von drahtlosen (WLAN-ähnlichen) Verbindungen der Aufbau insbesondere hinsichtlich der notwendigen Leitungen drastisch vereinfacht wurde.

### ■ Kostengünstig

Das Hobby Modellbahn ist nicht gerade billig. Das rollende Material, insbesondere die Lokomotiven, schlägt doch recht heftig zu Buche. Deshalb sollte die Elektronik nicht auch noch teuer sein. Aus diesem Grund stand die Kostenfrage immer im Mittelpunkt der Überlegungen, stets nach dem Motto »Viel Leistung für wenig Geld«. Gut, die Hardware muss immer noch käuflich erstanden werden, aber bereits bei der Software machen wir intensiv von kostenlosen Angeboten Gebrauch. So werden wir uns der notwendigen Entwicklungshilfsmittel kostenfrei bedienen.

### ■ Wiederverwendbar

Die meisten Komponenten sind so modular aufgebaut, dass sie mit überschaubaren Änderungen für andere Zwecke nutzbar sind. So kann beispielsweise das Weichenmodul mit geringen Modifikationen der Software auch zur Ansteuerung von Formsignalen genutzt werden.

### ■ Kompakt

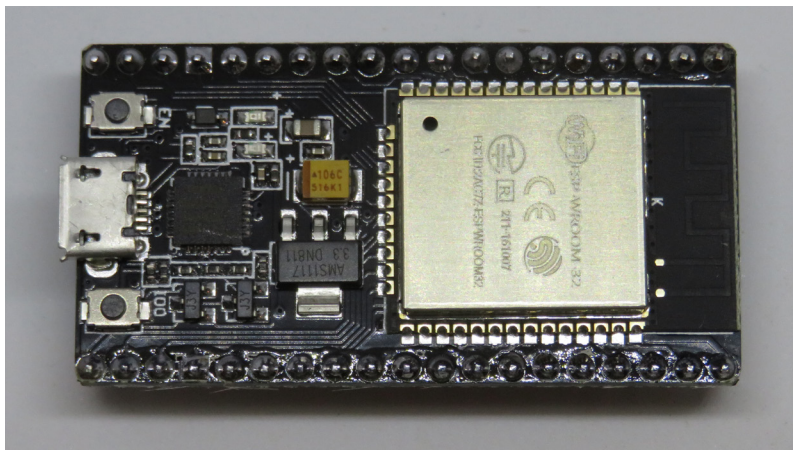
Wo immer es möglich ist, wurden Komponenten mit hoher Packungsdichte eingesetzt. So wird für das Herzstück der vorgestellten Module nicht ein einzelner Prozessor, sondern ein Modul verwendet, das bereits ein CAN-Interface sowie eine Ethernet-Komponente aufweist (ESP32-EVB). Wegen der bereits dadurch bereitgestellten hohen Funktionalität sind nur noch wenige weitere Bauteile notwendig, um auf einer kleinen Platine oder alternativ auf dem Breadboard ein vollständiges Modul aufzubauen.

### ■ Kompatibel

Durch den konsequenten Einsatz des Märklin-CAN-Protokolls lassen sich die hier vorgestellten Komponenten auch mit anderen käuflichen Modulen verwenden, die auf dem gleichen Prinzip beruhen.

Indem wir diese Entwicklungsziele verfolgen, stellen wir sicher, dass für den Bau und den Einsatz der CANguru-Komponenten keine vertieften Kenntnisse notwendig sind. Wenn ein Abschnitt einmal zu kompliziert scheint, um ihn ganz zu verstehen, gehen wir einfach über solche Stellen hinweg und kommen dennoch weiter zurecht.

Die aufgeführten Ziele lassen sich nur erreichen, wenn ein höchst leistungsfähiger Mikroprozessor kostengünstig zur Verfügung steht. Es ist der ESP32 von der Firma Espressif.



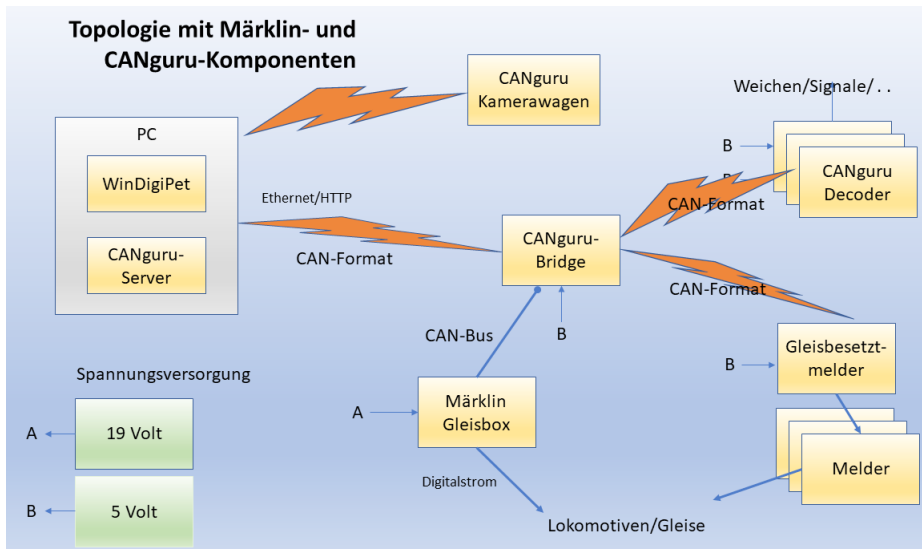
**Abb. 1-1** Der ESP32 ist auf diesem Modul verbaut.

Allerdings verbauen wir nicht diesen Chip direkt, sondern wir kaufen ihn auf einer kleinen Platine, die alle zum Betrieb notwendigen Bauelemente bereits mitbringt. Dies erleichtert den Aufbau der Module immens.

## Big Picture

Bislang wurde schon viel über die Komponenten geredet. Um welche Komponenten handelt es sich eigentlich bzw. wie hängen sie zusammen?

Beide Fragen werden anhand der folgenden Grafik beantwortet.



**Abb. 1-2** Das CANguru-System im Überblick

Der Dreh- und Angelpunkt des Systems ist die CANguru-Bridge.

Sie verbindet die Steuerungssoftware Win-DigiPet auf dem PC mit den Modellbahnkomponenten.

Demnach werden alle Befehle, die der Nutzer über die Steuerungssoftware an die Loks, Weichen oder Signale gibt, über das Ethernet an diese Komponente geleitet, dort ggf. angepasst und an das zuständige Modul kommuniziert. Dies sind u. a. Änderungen an einer Weichen- oder Signalstellung oder der Geschwindigkeit der Loks. Somit werden auch alle Befehle, die den direkten Fahrbetrieb betreffen, von hier an die Märklin-Gleisbox geführt. Dafür werden die zugehörigen Befehle im CAN-Format von dem Steuerungsprogramm auf dem PC über das Ethernet dann mithilfe dieser Komponente auf einen physikalischen CAN-Bus gelegt und an die Gleisbox geleitet. Dort wird dann das entsprechende Signal erzeugt und über das Gleis an die Lokomotiven geführt.





**Abb. 1-3** Dieses Gasthaus spielt später in der Modellbahnanlage eine herausragende Rolle.

Für die Stromversorgung der Decoder gibt es lediglich eine zentrale Stelle, die eine Spannung von 5 Volt zur Verfügung stellt. Dies ist dann auch die einzige eingehende Leitung an die Decoder. Das reduziert die zu verlegenden Leitungen wiederum. Dadurch führen beispielsweise zum Servodecoder (zur Steuerung der Weichen oder Signale) lediglich zusätzlich die Kabel für die einzelnen Servos. Alle notwendigen Infos kommen über die Luftschnittstelle zum Decoder. Dies ist noch ein Beitrag zur Übersichtlichkeit und damit werden mögliche Fehler durch falsche Beschaltung reduziert.

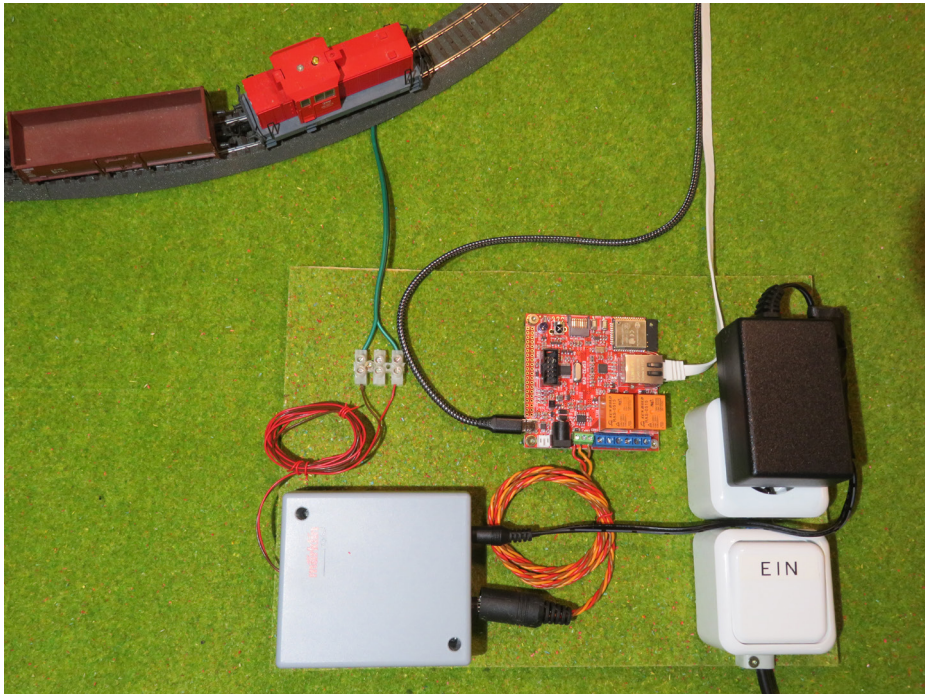
Die Bridge nimmt aber auch Informationen aus dem Modellbahnsystem auf und leitet sie an das Steuerungsprogramm weiter. Dies sind insbesondere Rückmeldungen, also die Information, dass ein Zug eine bestimmte Stelle im Gleisbild erreicht bzw. passiert hat. Diese Information wird durch Gleisbesetzmelder erzeugt.

Beim Anmeldeprozess einer mfx-Lokomotive werden Daten erzeugt, die nicht direkt an das Steuerungsprogramm, sondern dieses Mal an den CANGuru-Server weitergeleitet werden. Warum an diese PC-Komponente? Die Antwort lautet, dass diese Informationen zunächst noch weiterbearbeitet werden müssen. Dafür ist ein Mensch-Maschine-Interface notwendig. Und um es kurz zu machen: Alle Aktivi-

täten, die eine Nutzereingabe zur Verwaltung des Systems benötigen, werden über dieses Modul, den CANguru-Server, vorgenommen.

Im oben abgebildeten Schaubild sind als Decoder lediglich diejenigen für die Weichensteuerung sowie die Gleisbesetzmelder eingezeichnet. Darüber hinaus gibt es weitere Decoder, die die Modellbahn interessant machen: einer, der die Formsignale steuert, einer, der das LED-Signal bedient, und, um nur noch einen zu nennen, natürlich ein Lichtdecoder mit vielen Funktionen.

Das folgende Bild zeigt die Minimalausstattung, die man zum Betrieb einer einfachen Anlage benötigt.



**Abb. 1-4** Die Minimalversion quasi als CANguru-Kernsystem

Neben der Gleisanlage und dem rollenden Material sind es die vier Komponenten am unteren Rand. Rechts erkennt man die oben schon angeführte Märklin-Gleisbox mit Netzteil. Daneben liegt die CANguru-Bridge. Sie hat drei Anschlüsse, den USB-Anschluss, der die Platine mit Strom versorgt, sowie ein Ethernet-Kabel. Dieses Kabel stellt die Verbindung zwischen Gleisanlage und PC her. Der dritte Anschluss führt zur Märklin-Gleisbox. Über dieses Kabel laufen alle für die Loks relevanten Informationen im CAN-Format. An die Gleisbox ist weiterhin die Gleisanlage angeschlossen. Damit schließt sich der Kreis vom PC über das ESP32-Modul, dann die Gleisbox und schließlich die Gleise mit den Loks.



## Die funktionale Leistungsbeschreibung

Wenn man ein Haus baut, dann hat es sich bewährt, dass man vorab einen Plan erstellt, eine detaillierte Zeichnung.



**Abb. 1–6** Dieses Modellhaus spiegelt den Charakter unserer Modellanlage gut wieder.

Den Grundriss, den man für das Haus wählt, wägt man sorgsam ab. Dabei spielen diverse Aspekte eine Rolle. Wichtig ist natürlich die Anzahl der Personen, die in dem Haus wohnen sollen, ebenso wie die zur Verfügung stehende Grundfläche. Analog dazu wollen wir auch bei der Planung und Realisierung unserer Modellbahn vorgehen.

Zunächst erstellen wir eine Beschreibung, was die Modellbahn alles leisten soll. Wir werden uns natürlich nicht auf die Bemaßung beschränken, sondern auch auflisten, welche Handlungsabläufe mit der Bahn möglich sein sollen. Wichtig ist in diesem ersten Schritt, dass wir noch nicht zu technisch sind, sondern uns auf die Funktionen beschränken. Beispielsweise soll erkannt werden, dass ein Zug eine bestimmte Stelle auf der Anlage passiert hat, damit daraufhin ein Signal umgestellt werden kann.

Weil in dieser Beschreibung die Leistung der Bahn anhand ihrer Funktionen gezeigt wird, nennen wir das Ganze »funktionale Leistungsbeschreibung«. Anschließend werden wir dieser Beschreibung die Anforderungen an die einzelnen Komponenten entnehmen und dann in den späteren Kapiteln verfeinern. Zum Schluss nehmen wir uns wieder die funktionale Leistungsbeschreibung vor und schauen, ob wir alle gewünschten Funktionen auch tatsächlich realisiert haben. So sollte eigentlich nichts verloren gehen und die Bahn alles leisten, was wir am Anfang aufgeschrieben haben.

Also los geht's!

*Die Bahn soll mit Märklin C-Gleisen aufgebaut werden. Auf der Bahn sollen sowohl normale digitale Wechselstromlokomotiven als auch mfx-Loks fahren können.*

*Der Platzbedarf sollte das Maß von 1,20 m x 1,80 m nicht überschreiten. Die Bahn soll weiterhin enthalten: mindestens eine Brücke, Modellierung in einem hügeligen Gelände mit einem echt wirkenden Hintergrund, einen Tunnel, einen tatsächlichen Bahnhof sowie möglichst mittig Platz für eine kleine Stadt, deren Häuser beleuchtet sein sollen, mehrere (vielleicht vier bis sechs) Weichen, längere gerade Strecken, mehrere Signale (am liebsten Formsignale, vielleicht auch ein oder zwei Lichtsignale).*

*Der Aufbau soll unkompliziert sein, sowohl was den mechanischen Aufbau als auch was die Verdrahtung anbelangt. Natürlich muss sie zuverlässig sein, damit möglichst keine Unfälle zu beklagen sind. Eine komfortable Steuerung der Bahn soll vom PC aus geschehen. Dabei soll die Programmierung automatischer Fahrpläne in einfacher Form umsetzbar sein, Die Steuerung der Bahn soll natürlich mit digitalen Komponenten umgesetzt werden, die auch die Bastelkasse nicht allzu sehr belasten.*

Den Folgekapiteln werden wir nun die jeweiligen relevanten Anforderungen voranstellen, in der Hoffnung, dass nichts verloren geht. Dies betrifft vornehmlich das Kapitel, das sich mit dem Aufbau der Anlage beschäftigt.